

М. М. Эфрусси

Акустическое оформление громкоговорителей

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 441

М. М. ЭФРУССИ

АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

В брошюре освещаются условия работы громкоговорителя и его акустического оформления. Приводятся основные сведения по расчету и изготовлению акустического экрана, ящика, фазоинвертора и рупора. Рассматривается связь между акустическим оформлением и направленностью излучения громкоговорителя. Описывается акустическое оформление при стереофоническом звуковоспроизведении.

Брошюра рассчитана на широкий круг радиолюбителей-конструкторов.

6Ф2.7 *Эфрусси Михаил Михайлович*
Э 94 **Акустическое оформление громкоговорителей.** М. — Л., Госэнергоиздат, 1962.
48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 441).

6Ф2.7

Редактор *А. И. Кузьминов* Техн. редактор *В. В. Емжин*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 16/I 1962 г. Подписано к печати 11/V 1962 г.
Т-04766 Бумага 84×108¹/₃₂ 2,46 печ. л. Уч.-изд. л. 3,0
Тираж 60 000 экз. Цена 12 коп. Заказ 2029

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Громкоговорители можно отнести к самым распространенным электроакустическим приборам. Они применяются в радиоприемниках, телевизорах, звуковом кино и во многих других устройствах и системах.

Использование громкоговорителей тесно связано с их акустическим оформлением (щит, экран, ящик, фазоинвертор, рупор). Это оформление оказывает значительное влияние на акустические свойства и характеристики громкоговорителя. Воспроизведение низших частот, направленность излучения, равномерность частотной характеристики звукового давления, нелинейные искажения и другие акустические параметры громкоговорителя в большой степени зависят от его акустического оформления. Последнее определяет также габариты и внешний вид громкоговорителя и, таким образом, имеет еще декоративное значение.

В практическом отношении выбранный тип оформления громкоговорителя определяет не только архитектурную сторону устройства, но и стоимость материалов, а также сложность его изготовления. Последние обстоятельства могут оказаться решающими для многих радиолюбителей.

Об акустическом оформлении громкоговорителей опубликовано сравнительно много материалов. Однако в отличие от самих громкоговорителей, по которым имеется несколько хороших книг и брошюр, материалы по акустическому оформлению не собраны вместе, что затрудняет деятельность радиолюбителей в этом направлении, тем более что вопросы технологии его изготовления вообще слабо освещены.

Настоящая брошюра стремится в какой-то мере заполнить этот пробел. При ее написании автор использовал, помимо своего опыта, некоторые материалы, опубликованные в нашей и зарубежной технической литературе за последние годы.

М. Эфрусси

СОДЕРЖАНИЕ

НАЗНАЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

При работе громкоговорителя его диффузор совершает колебания вперед и назад с различными амплитудами в соответствии с величиной тока, проходящего через катушку громкоговорителя.

Двигаясь вперед, диффузор сжимает воздух перед собой и разрежает его позади себя. В результате этих сжатий и разрежений воздуха, прилегающего к диффузору, создаются звуковые волны, распространяющиеся со скоростью, приблизительно равной 340 *м/сек*. Однако звуковые волны от передней и задней сторон диффузора (вследствие того что одна создается сжатием, а другая — разрежением воздуха) различаются по фазе на 180°, что соответствует половине длины волны ($\lambda/2$).

Если в точку пространства, где производится прослушивание звука придут обе волны — прямая и огибающая от задней стороны диффузора, то, накладываясь одна на другую, они взаимно почти полностью уничтожатся и звук будет резко ослаблен. Такой эффект называется акустическим коротким замыканием. При этом, вместо того чтобы возбуждать звуковые волны, распространяющиеся дальше, диффузор будет перегонять воздух с одной своей стороны на другую.

Акустическое короткое замыкание проявляется только в области самых низких звуковых частот (приблизительно до 300 *гц*), при которых размеры диффузора малы по сравнению с длинами этих волн. Для более высоких звуковых частот, при которых длина волны меньше, воздействие волны от задней стороны диффузора ослабляется самим диффузором.

Пусть, например, громкоговоритель излучает звук частотой $f=500$ *гц*; тогда длина волны звука этой частоты $\lambda=\frac{c}{f}=\frac{340\cdot 100}{500}=$ $=68$ *см* (c — скорость распространения звука в воздухе). Если диаметр диффузора громкоговорителя равен 26 *см*, то для прихода в точку прослушивания, находящуюся на оси громкоговорителя (линия, проходящая через центр диффузора), волна от задней стороны диффузора должна будет пройти путь, приблизительно на 26 *см* больший, чем волна от передней его стороны (рис. 1). Это означает, что звуковая волна от задней стороны диффузора придет в точку приема с дополнительным сдвигом фазы, который будет определяться отношением разности длины путей от передней и

задней сторон диффузора к длине волны. В нашем примере разность длины путей (приблизительно диаметр диффузора) составляет 26 *см*, а длина волны звука (частота 500 *гц*) равна 68 *см*. Следовательно, дополнительный сдвиг фазы $\varphi_{доп} = \frac{26}{68} \approx 0{,}4\lambda$, т. е. вследствие огибания звуковой волной диффузора получился сдвиг фазы около 0,4 длины волны.

Поскольку звуковая волна от задней стороны диффузора всегда сдвинута по фазе на $0{,}5\lambda$, результирующий сдвиг фазы рассматриваемой волны по отношению к волне от передней стороны диффузора составит $\varphi_{общ} = 0{,}4\lambda + 0{,}5\lambda = 0{,}9\lambda$. Это означает, что волны от обеих сторон диффузора придут в точку приема почти в одинаковой фазе (сдвиг фазы будет $0{,}1\lambda$) и сложатся, в результате чего звуковое давление возрастет. Для звука частотой 50 *гц* ($\lambda = 680$ *см*) при том же диаметре диффузора создается условие, при котором сдвиг фазы

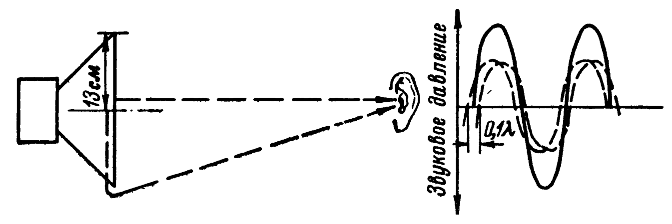


Рис. 1. Интерференция между звуковыми волнами от передней и задней сторон диффузора.

вследствие огибания диффузора составит всего лишь $\varphi'_{доп} = \frac{26}{680} \approx 0{,}04\lambda$, а общий сдвиг фазы $\varphi'_{общ} = 0{,}04\lambda + 0{,}5\lambda = 0{,}54\lambda$. При таком сдвиге фазы звуковые волны от обеих сторон диффузора будут вычитаться одна из другой и звуковое давление резко упадет.

Из разобранного примера следует, что если общий сдвиг фазы волны от задней стороны диффузора в точке приема звука равняется целому числу длин волн (λ, 2λ, 3λ и т. д.), то эта волна будет складываться с волной от передней стороны диффузора и звук будет усиливаться; если же сдвиг фазы равен нечетному числу полуволн ($0{,}5\lambda$; $1{,}5\lambda$; $2{,}5\lambda$ и т. д.), то волны будут вычитаться и звук будет ослабляться.

Вычитание и сложение звуковых волн различных частот в точке их приема создают максимумы и минимумы (подъемы и провалы) звукового давления. Такое взаимодействие волн (интерференция) может происходить не только между волнами от передней и задней сторон диффузора, но иногда также и при участии волн, приходящих в точку приема после отражения звуковой волны от какой-либо из отражающих поверхностей, имеющихся в помещении. Именно поэтому частотные характеристики громкоговорителей измеряют в заглушенных помещениях, внутренние поверхности которых плохо отражают звуковые волны и, таким образом, позволяют получить частотную характеристику, свободную от влияния помещения.

В том случае, когда имеется интерференция между звуковыми волнами от передней и задней сторон диффузора, наибольшая неравномерность частотной характеристики звукового давления будет наблюдаться вдоль оси диффузора при наличии осевой симметрии громкоговорителя. Это происходит потому, что при этом сдвиг фазы звуковой волны за счет огибания будет одинаковым вокруг всего диффузора (громкоговорителя).

В стороне от оси громкоговорителя из-за различия в длине пути для волн от различных частей диффузора до точки прослушивания сдвиг фазы волны от обратной стороны диффузора также оказывается различным для волн от разных частей диффузора. В результате этого подъемы и провалы в частотной характеристике звукового давления, развиваемого громкоговорителем, сбоку от его оси сглаживаются и характеристика получается более ровной.

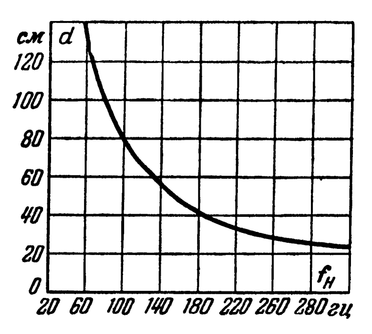


Рис. 2. График для определения размеров акустического экрана.

Чтобы устранить крайне нежелательное явление интерференции волн низших частот от передней и задней сторон диффузора, применяют различные виды акустического оформления громкоговорителей: щит (акустический экран), акустический лабиринт, открытый или закрытый ящик, фазоинвертор и направляющий рупор.

Акустическое оформление целесообразно только при наличии громкоговорителя, способного воспроизвести интересующие нас низшие частоты. Для электромагнитных громкоговорителей, предназначенных для карманных радиоприемников и плохо воспроизводящих низшие частоты, акустическое оформление нецелесообразно.

АКУСТИЧЕСКИЙ ЭКРАН

Наиболее простым видом акустического оформления громкоговорителя является акустический экран, представляющий собой чаще всего деревянный щит прямоугольной формы, размеры которого для воспроизведения низших частот должны быть довольно большими, что в большинстве случаев неосуществимо. Например, для воспроизведения без ослабления звука частотой 50 *гц*, длина волны которого равна 680 *см*, необходимо, чтобы сторона экрана приблизительно равнялась 340 *см* (половине длины волны) или больше. Однако вполне удовлетворительные результаты, особенно если в усилителе имеется подъем низших частот, могут быть получены со щитом меньшего размера, сторона которого выбирается по кривой на рис. 2, в зависимости от низшей воспроизводимой частоты.

При этом следует иметь в виду, что в случае использования акустического экрана, размеры которого малы по сравнению с длиной волны, звуковая мощность, излучаемая громкоговорителем на частотах выше его основной резонансной частоты, увеличивается на

6 *дб* на октаву[1]. Поэтому при данных размерах экрана для повышения отдачи на самых низких частотах выгодно применять громкоговоритель с более низкой частотой основного резонанса.

Очень хорошим экраном может служить стена (перегородка) или потолок помещения, если установить громкоговоритель в отверстии, сделанном в стене или потолке. Такой способ установки можно применить, если нужно озвучить одним громкоговорителем два смежных помещения, например два зала ожидания на вокзале и т. п. Хорошим местом установки громкоговорителя может быть также поверхность стенного шкафа, но все это является исключениями.

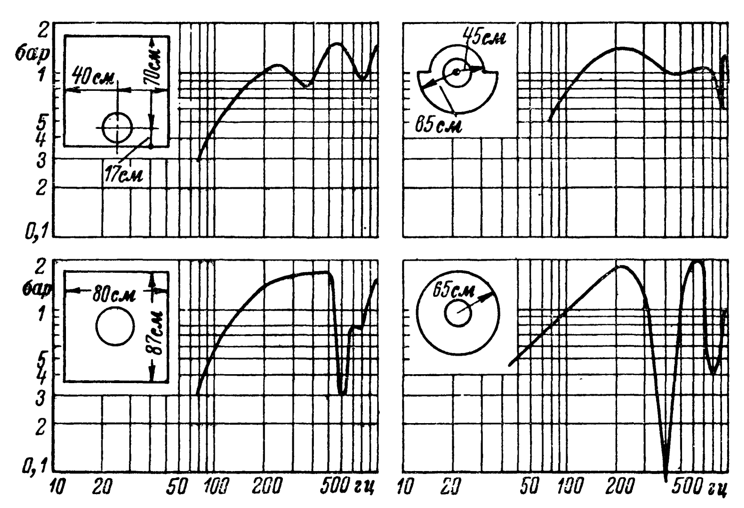


Рис. 3. Частотные характеристики громкоговорителя, установленного в экранах различной формы.

Из того, что говорилось об акустическом оформлении, следует, что симметричность экрана относительно оси диффузора также нежелательна, так как при этом в частотной характеристике громкоговорителя появится глубокий провал в результате акустического короткого замыкания. Это хорошо видно из рис. 3, на котором показаны частотные характеристики громкоговорителя, установленного на щитах различной формы. Из рисунка видно, что наибольшую неравномерность частотной характеристики громкоговорителя дает установка его в центре круглого щита, т. е. случай наибольшей симметрии. Значительное улучшение частотной характеристики достигается или несимметричным экраном, или асимметричным расположением громкоговорителя в экране правильной формы.

[1] Октава — частотный интервал между двумя частотами (объединяющий 12 полутонов), логарифм отношения которых при основании 2 равен 1 Отношение частот одноименных тонов октавы равно 2.

Установка щита с громкоговорителем в углу комнаты улучшает воспроизведение низших частот, так как в этом случае стены угла служат продолжением экрана, увеличивая его эффективные размеры. Щит, предназначенный для этого, следует подвесить в верхнем углу комнаты, придав ему форму остроугольного треугольника (рис. 4) или трапеции. Между верхней кромкой щита и потолком необходимо оставить широкую щель, а пространство позади громкоговорителя рекомендуется заполнить звукопоглощающим материалом.

ЯЩИК

Громоздкость акустического экрана и неудобства его применения привели к тому, что громкоговорители стали помещать в ящиках с открытой задней стенкой (ящик радиоприемника). Такой ящик эквивалентен плоскому акустическому экрану со стороной $d=a+2b$ (рис. 5) до глубины b, равной 0,125 длины волны низшей воспроизводимой частоты.

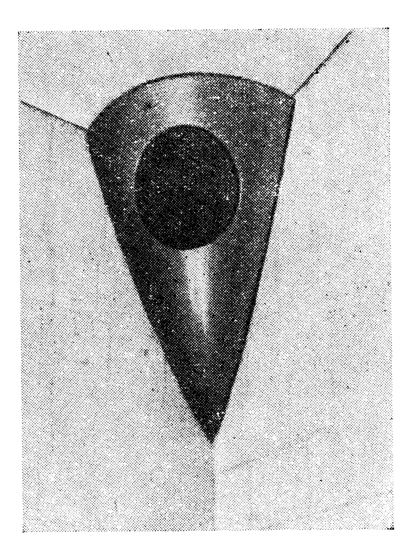


Рис. 4. Внешний вид щита с громкоговорителем, подвешенного в углу комнаты.

Наряду с ящиками, имеющими открытую заднюю стенку, применяют и ящики с закрытой задней стенкой, которые отличаются по своему влиянию на частотную характеристику излучения громкоговорителя от акустического экрана. Закрытая задняя стенка на первый взгляд должна улучшать воспроизведение низших частот тем, что она исключает излучение от задней стороны диффузора. Однако упругость находящегося в ящике объема воздуха, особенно если этот объем не слишком велик (меньше 2—3 $м^3$), складывается с упругостью подвижной системы громкоговорителя и повышает его резонансную частоту, чем ухудшает отдачу на низших частотах. Кроме того, замкнутый объем воздуха вызывает дополнительные резонансные явления на более высоких частотах, уменьшающие равномерность частотной характеристики громкоговорителя. Для устранения дополнительных резонансов, создаваемых воздушным объемом ящика, применяют покрытие внутренних поверхностей ящика звукопоглощающим материалом.

Представление о влиянии закрытого ящика объемом 25 $дм^3$ на частотную характеристику громкоговорителя в области низших часто дают кривые на рис. 6. Однако, правильно выбрав размеры ящика с закрытой задней стенкой и применив звукопоглощающее

покрытие на его внутренних поверхностях, можно получить вполне удовлетворительные результаты. Размеры ящика с закрытой задней стенкой следует выбирать в зависимости от диаметра диффузора D (в сантиметрах) так, чтобы объем ящика (в кубических сантиметрах) равнялся $125D^2$. По кривым, изображенным на рис. 7, можно сразу определить размеры (высоту, ширину и глубину) ящика, объем которого соответствует приведенной зависимости. Эти размеры соответствуют так называемой динамической симметрии. В том случае, если в ящик устанавливают два громкоговорителя, расчет размеров ящика производят по эквивалентному диаметру диффузора $D_э = \sqrt{D_1^2 + D_2^2}$. При одинаковых диаметрах диффузоров громкоговорителей $D_э = 1{,}41D_1$.

Некоторое влияние на частотную характеристику громкговорителя оказывает внешняя конфигурация ящика вследствие эффекта дифракции (огибание волной препятствия). На рис. 8 приведены иллюстрирующие это влияние частотные характеристики одного и того же громкоговорителя в ящиках различной формы. Из этих частотных характеристик видно, что чем более плавную форму, т. е. более тупые углы, имеет поверхность, прилегающая к громкоговорителю, тем слабее эффект дифракции и тем ровнее частотная характеристика громкоговорителя. Очевидно, наилучшей формой поверхности (в смысле отсутствия дифракции) будет сфера.

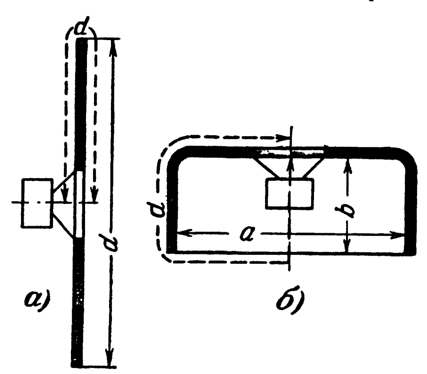


Рис. 5. Размещение громкоговорителя.

а — на экране с расчетным размером d; *б* — в ящике с эквивалентным размером $d = a + 2b$.

Качество звуковоспроизведения зависит не только от частотных и амплитудных характеристик звеньев звуковоспроизводящего тракта. Оно, а тем более высокая верность передачи музыки и речи, определяется во многом **переходными характеристиками** громкоговорителей (поведения громкоговорителя в момент перехода его подвижной системы от состояния покоя к воспроизведению сигнала или наоборот). Эти характеристики определяют способность громкоговорителя воспроизводить те или иные быстро изменяющиеся во времени колебательные процессы, что является весьма важным свойством, характеризующим качество звукопередачи.

Как показали многочисленные исследования, динамическая структура речи и музыки имеет импульсный характер. Речь и в значительной степени музыка представляют собой непрерывный ряд следующих один за другим звуковых импульсов различной продолжительности, интенсивности и частоты (высоты тона). Поэтому хороший громкоговоритель должен иметь и хорошие переходные ха-

рактеристики, т. е. точно преобразовывать электрический импульс в звуковой.

Переходные характеристики громкоговорителя определяются степенью электромеханического демпфирования подвижной системы, т. е. величиной механических потерь (внутреннего трения). Недостаточное демпфирование подвижной системы громкоговорителя выражается появлением в его частотной характеристике одного или нескольких максимумов (пиков), свидетельствующих о том, что система имеет одну или несколько резонансных частот.

Степень демпфирования (затухания) определяется высотой пика, который тем больше, чем меньше затухание в колебательной системе. Плохие переходные характеристики громкоговорителя и вследствие этого неточное воспроизведение им электрического импульса объясняются тем, что подвижная система громкоговорителя (диффузор со звуковой катушкой) не только смещается электрическим импульсом из положения покоя, но и приводится в колебание на собственных (резонансных) частотах системы. Эти собственные колебания подвижной системы проявляются как в начале, так и в конце электрического импульса, причем, являясь свободными затухающими колебаниями, они могут продолжаться и после прекращения действия импульса. При слабом демпфировании собственные колебания подвижной системы громкоговорителя могут длиться 0,1—0,15 *сек*. Вследствие этого они могут наложиться на следующий звуковой импульс и значительно исказить сигнал, сопровождая его призвуками, отсутствовавшими в воспроизводимом сигнале.

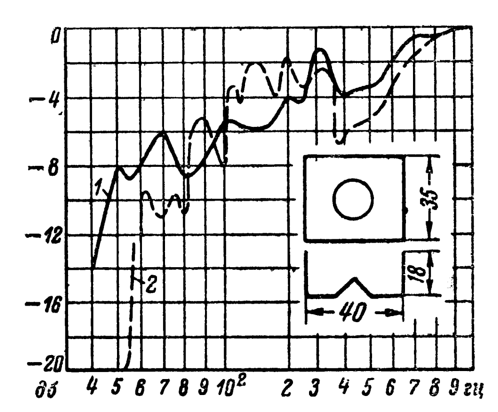


Рис. 6. Частотные характеристики громкоговорителя в ящике объемом 25 *дм*³.
1 — с открытой задней стенкой; *2* — с закрытой стенкой.

Помимо демпфирования в самом громкоговорителе, зависящего от величины магнитной индукции в кольцевом зазоре и колебательных потерь в его подвижной системе, демпфирующее действие на громкоговоритель оказывают низкое выходное сопротивление усилителя, а также высокое сопротивление излучения. Последняя ве-

личина определяет излучающую способность любого излучателя и является активной компонентой акустического сопротивления излучателя.

Установка громкоговорителя в закрытом ящике позволяет осуществить один из самых эффективных методов[1] акустического демпфирования. Акустическим методом он называется потому, что связан с излучением звука, так как демпфирование производится с помощью пористого звукопоглощающего материала, вносящего

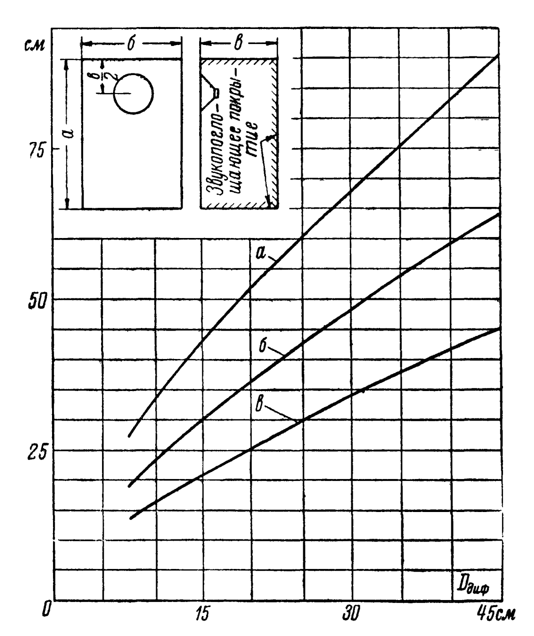


Рис. 7. Кривые для расчета размеров ящика с закрытой задней стенкой в зависимости от диаметра диффузора.

а — высота; *б* — ширина; *в* — глубина ящика.

активное сопротивление, т. е. потери, в слой воздуха, колеблющийся вместе с диффузором. Таким образом, через колеблющийся воздух затухание вводится во все звенья механико-акустической системы громкоговорителя.

При акустическом демпфировании громкоговоритель устанавливают в закрытом ящике, заполненном хлопчатобумажной, минеральной или стеклянной ватой. Ею заполняют весь объем ящика вплоть до громкоговорителя, причем для предупреждения касания ватой диффузора на его держатель накладывают пластмассовую или металлическую сетку с ячейками размером 2—4 *мм*. Плотность за-

[1] Разработано С. Т. Тер-Осипянцем.

полнения ватой зависит от ее пористости и особенностей ящика и громкоговорителя. Такой сравнительно простой способ акустического демпфирования одинаково хорошо действует от самых низких звуковых частот до частоты 4—5 *кгц*. На более высоких звуковых частотах этот метод демпфирования малоэффективен вследствие изменения характера излучения звука диффузором и ослабления акустической связи между громкоговорителем и поглотителем.

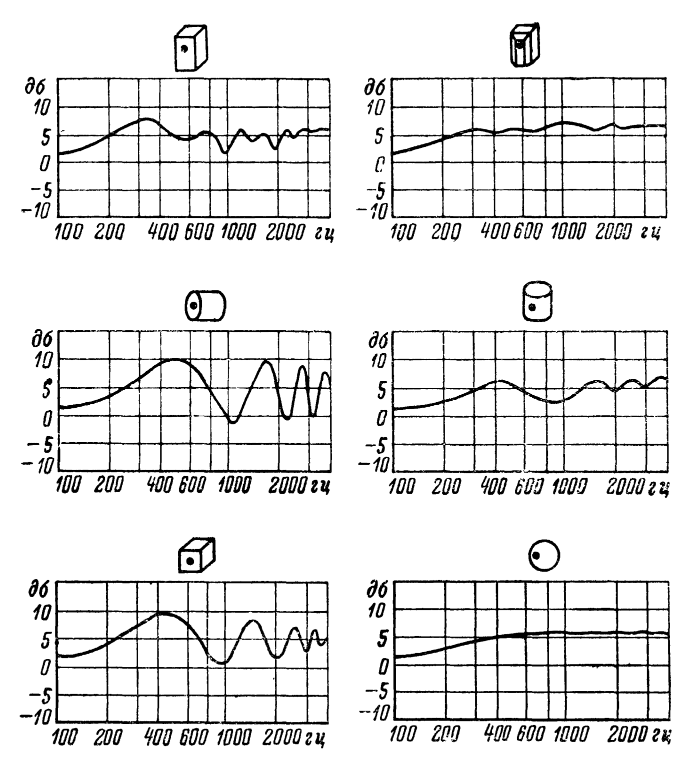


Рис. 8. Частотные характеристики громкоговорителя в ящиках различной формы. (Точка обозначает громкоговоритель.)

Эффект акустического демпфирования очень наглядно иллюстрируется результатами измерений, проведенных с двумя громкоговорителями 8ГД-РР3 (от радиоприемника «Рига-10»), имеющими диффузор диаметром 25 *см* и смонтированными в закрытом ящике объемом 0,08 $м^3$ (40×40×50 *см*). На рис. 9,*а* изображена частотная характеристика громкоговорителей до заполнения ящика ватой. На ней отчетливо виден основной резонанс подвижной системы громкоговорителей вблизи частоты 100 *гц*. На рис. 9,*б* показана частотная характеристика тех же громкоговорителей после заполнения ящика хлопчатобумажной ватой (в количестве около 3 *кг*).

Сопоставление обеих частотных характеристик показывает, что демпфирование громкоговорителей резко снизило все резонансные явления, причем подавление основного резонанса понизило на 15 *дб* звуковое давление, развиваемое громкоговорителями на частоте основного резонанса. Завал низших частот представляет собой «плату» за улучшение переходных характеристик громкоговорителя акустическим демпфированием, так как для компенсации этого завала

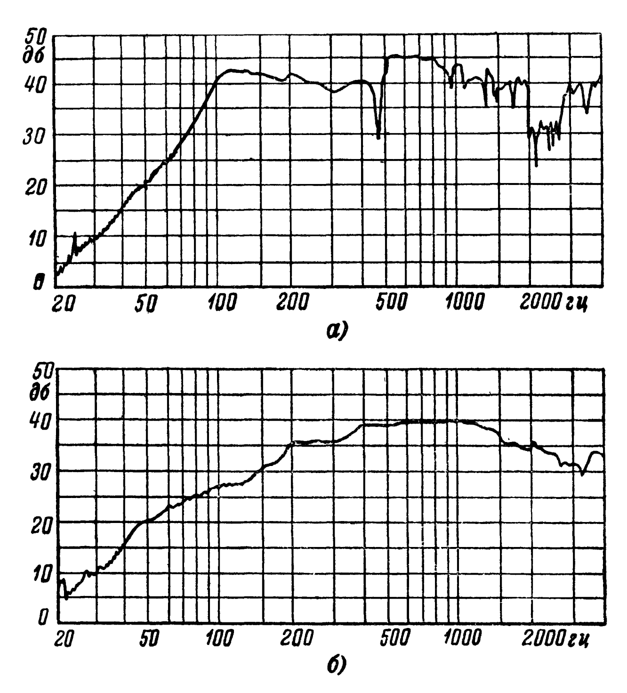


Рис. 9. Частотные характеристики громкоговорителей.

а — в ящике без акустического демпфирования; *б* — то же с демпфированием.

требуется соответствующий подъем низших частот в усилителе, что, очевидно, возможно сделать путем соответствующей корректировки его схемы.

Сглаживание частотной характеристики громкоговорителя означает улучшение его переходных характеристик. На рис. 10 приведены осциллограммы звукового давления, развиваемого теми же громкоговорителями на расстоянии 30 *см* от микрофона при воспроизведении ими прямоугольных импульсов длительностью 40 *мсек*, заполненных разными звуковыми частотами. Осциллограммы слева относятся к громкоговорителям до заполнения ящика ватой, а справа — после заполнения. Приведенные осциллограммы убедительно

показывают высокую эффективность акустического демпфирования, особенно вблизи частоты основного резонанса.

Следует особо отметить большую ценность акустического демпфирования в громкоговорителях, применяемых в системах усиления звука. В этом случае более гладкая их частотная характеристика позволяет повысить среднюю интенсивность звука без опасности возникновения акустической генерации, которая легче возникает на резонансных частотах, когда возрастает интенсивность звука и вследствие этого попадающая в микрофоны звуковая энергия.

Из изложенного следует, что акустическое демпфирование одинаково эффективно подавляет резонансные явления как самого громкоговорителя, так и ящика (воздушного объема и стенок). Сорт ваты не имеет существенного значения. Правда, обычная хлопчатобумажная вата обладает горючестью (ее основной недостаток), но возможность ее возгорания в закрытом ящике весьма мала. Для того чтобы избежать весьма болезненных порезов кожи рук при заполнении ящика минеральной ватой или ватой из стекловолокна, необходимо обязательно пользоваться перчатками.

Акустическое демпфирование не может быть применено, если громкоговоритель размещен в ящике вместе с остальной аппаратурой или когда объем ящика меньше 0,05 $м^3$, так как количество ваты, которое можно поместить в ящик, будет в этом случае недостаточным.

Ящикам, в которых устанавливают громкоговорители, часто придают вид радиомебели, т. е. в них совмещают радиотехнические или акустические функции и формы с бытовыми. Такое совмещение

Рис. 10. Воспроизведение громкоговорителями прямоугольных импульсов частотой 90, 150, 1 100 и 3 500 *гц*.

а — в ящике без акустического демпфирования; *б* — то же с демпфированием.

позволяет лучше использовать жилую площадь и полезно в акустическом отношении, так как увеличивает размеры акустического экрана. Для этой цели в ящике, кроме отсеков для громкоговорителя и радиоаппаратуры, предусматривают полки для книг, грампластинок, магнитофонных лент. Образец такого радиомебельного оформления напольной конструкции показан на рис. 11.

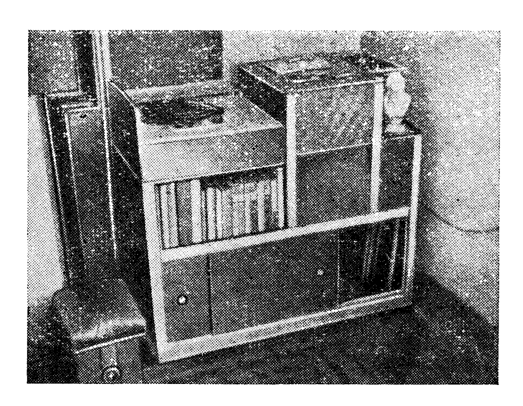


Рис. 11. Внешний вид радиомебельного оформления громкоговорителя.

К случаям размещения громкоговорителей в ящиках должны быть отнесены различные способы замаскированного оформления громкоговорителей в основании настольной лампы, как это сделано во многих железнодорожных вагонах, в различных светильниках, нишах, специально сделанных проемах, за решетками архитектур-

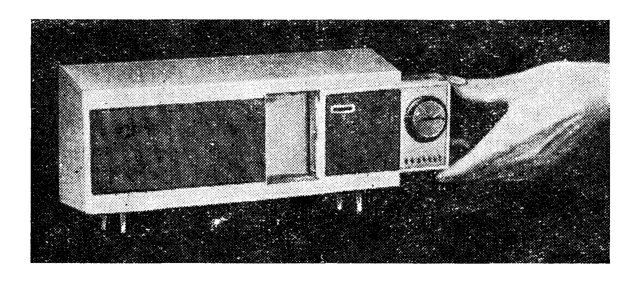


Рис. 12. Акустическое оформление для карманного приемника.

ного или декоративного оформления панелей здания или в создаваемом специально для размещения громкоговорителя декоративном оформлении под стиль помещения.

Заслуживает внимания установка громкоговорителя в кожухе электрических часов, на циферблате которых сделаны прорези для

излучения звука. Такая конструкция особенно ценна в архитектурно-декоративном отношении для школ, больниц и других общественных учреждений. Однако в большинстве случаев замаскированного размещения громкоговорителей акустические качества оформления оказываются невысокими, так как габариты такого оформления обычно бывают недостаточными. Чаще всего в таких случаях не требуется высококачественное звуковоспроизведение, т. е. воспроизведение низших звуковых частот. Последнее обстоятельство для речевых передач даже благоприятно.

Как уже говорилось, воспроизведение низших частот зависит от размеров акустического оформления. Поэтому для улучшения звучания карманного приемника с динамическим громкоговорителем, когда он используется в домашних условиях, предложена приставка (рис. 12), увеличивающая размеры акустического оформления.

ФАЗОИНВЕРТОР

Разновидность закрытого ящика для громкоговорителя — фазоинвертор — получила весьма значительное распространение. Фазоинвертор представляет собой закрытый ящик, имеющий отверстие обычно вблизи громкоговорителя, на одной стороне с ним, приблизительно равное площади диффузора. Это отверстие служит для использования излучения задней стороны диффузора громкоговорителя и увеличивает отдачу на самых низких частотах. Происходит это потому, что диффузор громкоговорителя связан через упругость воздушного объема ящика с массой воздуха в отверстии. Масса воздуха в отверстии ведет себя подобно диффузору, являясь дополнительным излучателем звука (вторым диффузором). Отдача увеличивается преимущественно на резонансной частоте объема фазоинвертора, которая выбирается равной или несколько ниже основной резонансной частоты громкоговорителя.

Упругость воздушного объема ящика и масса воздуха в отверстии фазоинвертора, зависящая от его площади и толщины краев отверстия, образуют резонансную систему (резонатор Гельмгольца), частота которой приближенно выражается формулой

$$f_ф = 5\,460 \frac{\sqrt[4]{S}}{\sqrt{V}},$$

где $f_ф$ — резонансная частота фазоинвертора, *гц*

S — площадь отверстия, *см*^{2};

V — объем ящика, *см*^{3}.

Из этой формулы видно, что резонансная частота $f_ф$ зависит значительно меньше от изменения площади отверстия, чем от объема ящика. Например, изменив площадь отверстия в 16 раз, мы изменим частоту резонанса только в 2 раза. Это обстоятельство позволяет в случае надобности очень плавно изменять резонансную частоту фазоинвертора.

Действие фазоинвертора наглядно видно из рис. 13, на котором показано, как происходит излучение звука фазоинвертором. При частотах выше резонансной частоты фазоинвертора $f > f_ф$ звуковое давление, создаваемое громкоговорителем, боль-

ше, чем создаваемое отверстием фазоинвертора, и они близки по фазе, а поэтому складываются. На резонансной частоте фазоинвертора $f=f_ф$, в случае если она не равна частоте основного резонанса подвижной системы громкоговорителя, звуковое давление, создаваемое последним, значительно меньше, чем от отверстия фазоинвертора, и результирующее звуковое давление определяется главным образом излучением фазоинвертора. На частотах громкоговорителя ниже резонансной частоты фазоинвертора $f<f_ф$ звуковое давление, создаваемое им, уменьшается, становясь близким по величине к звуковому давлению от громкоговорителя. Эти давления почти проти-

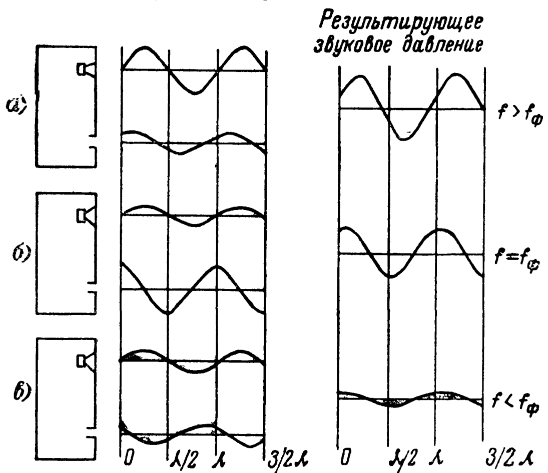


Рис. 13. Действие фазоинвертора.

а — частота громкоговорителя выше резонансной частоты фазоинвертора; *б* — частоты равны; *в* — частота громкоговорителя ниже резонансной частоты фазоинвертора.

вофазны, и поэтому результирующее звуковое давление будет меньше.

Фазоинвертор с громкоговорителем может быть изображен упрощенной эквивалентной схемой (справедливой только для низших частот), представляющей громкоговоритель последовательным колебательным контуром, а фазоинвертор — параллельным контуром, которые соединены последовательно. Эта схема позволяет объяснить наличие двух максимумов в частотной характеристике полного сопротивления громкоговорителя с фазоинвертором. Частотная характеристика полного сопротивления громкоговорителя позволяет судить о правильности настройки фазоинвертора.

Предположим для упрощения, что резонансные частоты громкоговорителя и фазоинвертора одинаковы и равны $f_ф$. Для частот ниже резонансной последовательный контур, эквивалентный громкоговорителю, имеет емкостный характер, а параллельный контур, эквивалентный фазовращателю,— индуктивный характер. Поэтому оба рассматриваемых контура образуют как бы новый последовательный резонансный контур с частотой резонанса f_1. Для частот

выше резонансной характеристика контуров становится обратной: последовательный контур ведет себя, как индуктивность, а параллельный — как емкость. В результате этого получается второй резонанс последовательного контура f_2 (рис. 14). Фазоинвертор считается правильно настроенным, если в частотной характеристике полного сопротивления оба пика (на частотах f_1 и f_2) имеют приблизительно одинаковую высоту.

Правильно сделанный фазоинвертор не только улучшает частотную характеристику звуковоспроизведения в области низших частот, но и способствует уменьшению нелинейных искажений вблизи частоты основного резонанса громкоговорителя и частот ниже его. В области резонанса громкоговорителя вследствие значительного возрастания амплитуды движения звуковой катушки и диффузора начинает сказываться нелинейность их крепления (центрирующая шайба, краевой гофр). Поэтому в воспроизводимом сигнале появляются гармонические составляющие, т. е. возрастают нелинейные искажения. Вследствие значительного акустического сопротивления фазоинвертора при резонансе амплитуда движений диффузора уменьшается и звуковое давление создается главным образом выходным отверстием фазоинвертора. Так как при этом не происходит нелинейных эффектов (нарушение пропорциональности между перемещением диффузора и возбуждающей силой), звук получается неискаженным. Выше резонансной частоты фазоинвертора воздействие его на громкоговоритель уменьшается, но зато сопротивление излучения у громкоговорителя увеличивается и, таким образом, искажения повышаются очень мало.

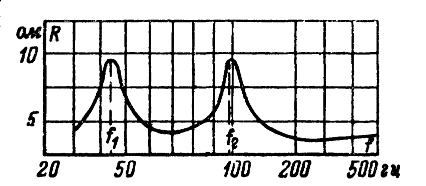


Рис. 14. Частотная характеристика полного сопротивления громкоговорителя в фазоинверторе

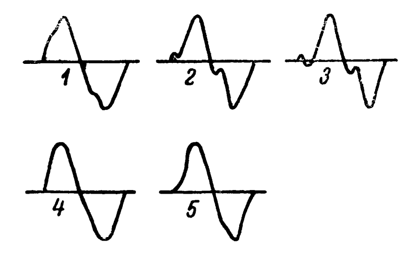


Рис. 15. Осциллограммы звукового давления громкоговорителя.

1 — в экране размером 45×45 *см*, частота 100 *гц*; *2* — то же, частота 85 *гц*; *3* — то же; частота 50 *гц*; *4* — в фазоинверторе, частота 75 *гц*; *5* — то же, частота 50 *гц*.

Изложенное хорошо подтверждается приведенными на рис. 15 осциллограммами звукового давления различных частот, развиваемых одним и тем же громкоговорителем с основным резонансом подвижной системы на частоте 85 *гц* при установке его на щите размерами 45×45 *см* и в фазоинверторе, согласованном с громкоговорителем. Из осциллограмм видно, что нелинейные искажения громкоговорителя с фазоинвертором меньше, чем при установке его на щите.

Таким образом, совмещение резонансных частот громкоговори-

теля и фазоинвертора, если они лежат в области 40—80 *гц*, снижает нелинейные искажения; смещение резонанса фазоинвертора ниже резонансной частоты громкоговорителя расширяет вниз полосу воспроизводимых частот, не оказывая влияния на нелинейные искажения. Только в случае очень низкой (20—30 *гц*) резонансной частоты громкоговорителя фазоинвертор может быть настроен на более высокую частоту. Представляет интерес явление снижения со временем упругости подвижной системы громкоговорителя, в результате чего немного уменьшается его основная резонансная частота.

Следует подчеркнуть, что эффективность действия фазоинвертора связана с площадью его отверстия, которая должна приблизительно соответствовать эффективной площади диффузора (площадь диффузора за исключением краевого гофра), для того чтобы

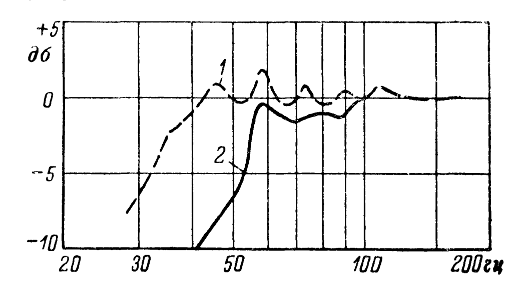


Рис. 16. Частотные характеристики громкоговорителя в фазоинверторах различных объемов.
1 — объем 57 *дм*³; 2 — объем 238 *дм*³.

излучение фазоинвертора было соизмеримым с излучением громкоговорителя. Так как площадь отверстия фазоинвертора при одной и той же резонансной частоте связана с объемом, соблюдение этого требования порождает необходимость в использовании определенного объема фазоинвертора в зависимости от размеров громкоговорителя.

На рис. 16 приведены частотные характеристики громкоговорителя с диффузором диаметром 25 *см* и эффективной площадью около 400 *см*², установленного в фазоинверторах, настроенных на одну и ту же частоту 40 *гц*, но двух различных объемов (57 и 238 *дм*³), имеющих соответствующие площади отверстия (28 и 410 *см*²). Фазоинвертор меньшего объема практически ничего не излучает на своей резонансной частоте, в то время как другой фазоинвертор, имеющий площадь отверстия, почти равную диффузору, излучает на той же частоте столько же, сколько излучается громкоговорителем на других частотах.

На рис. 17 приведены кривые зависимости влияния площади отверстия фазоинвертора на частотную характеристику громкоговорителя с основным резонансом на частоте 30 *гц* при неизменном объеме ящика фазоинвертора. Увеличение площади отверстия повышает резонансный пик и частоту резонанса.

Как показали эксперименты, заметное влияние на резонансную частоту фазоинвертора оказывает конфигурация его отверстия, т. е.

отношение его сторон. Резонансная частота фазоинвертора при соотношении сторон отверстия от 1 до 16 изменяется на 6—12%. Конфигурация ящика фазоинвертора при отношении его сторон до 1 : 3 не влияет существенно на частоту резонанса.

Если внутренняя поверхность фазоинвертора не покрыта звукопоглощающим материалом, то внутри него на средних частотах может возникнуть интерференция звуковых волн, несколько ухудшающая равномерность частотной характеристики громкоговорителя. Поэтому внутреннюю поверхность фазоинвертора хотя бы

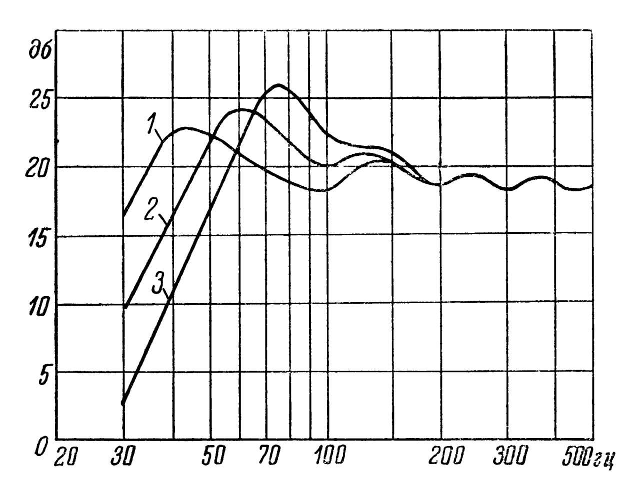


Рис. 17. Частотные характеристики громкоговорителя в фазоинверторе при различных площадях отверстия

1 — малая площадь; *2* — средняя; *3* — большая.

частично покрывают звукопоглощающим материалом. В качестве примера укажем, что обивка звукопоглощающим материалом половины внутренней поверхности фазоинвертора объемом 170 *дм*³ позволила устранить провал глубиной 6 *дб* на частоте 190 *гц*, вызывавшийся интерференцией.

Размеры фазоинвертора выбирают, исходя из эффективной площади диффузора громкоговорителя, приблизительно равной $S_{эф}=0{,}8\pi R^2_{диф}=2{,}5\ R^2_{диф}$, или $S_{эф}=0{,}63\ D^2_{диф}$. Площадь отверстия фазоинвертора должна быть приблизительно равна эффективной площади диффузора. При этом объем ящика фазоинвертора связан с радиусом диффузора громкоговорителя соотношением

$$V = 12\,800 R_{диф},$$

где $R_{диф}$ — радиус диффузора громкоговорителя, *см*;

V — объем ящика, *см*³

Наивыгоднейшие размеры ящика, объем которого соответствует приведенному соотношению, могут быть определены по кривым на рис. 18.

Ящик фазоинвертора может быть и не прямоугольной формы. Иногда может оказаться более удобным поместить фазоинвертор в углу помещения; тогда ему придается форма трехгранной призмы (рис. 19). В этом случае площадь отверстия фазоинвертора также должна быть равна эффективной площади диффузора; сторону a (в сантиметрах) рассчитывают по формуле

$$a = 23{,}5\sqrt[3]{R_{\text{диф}}}.$$

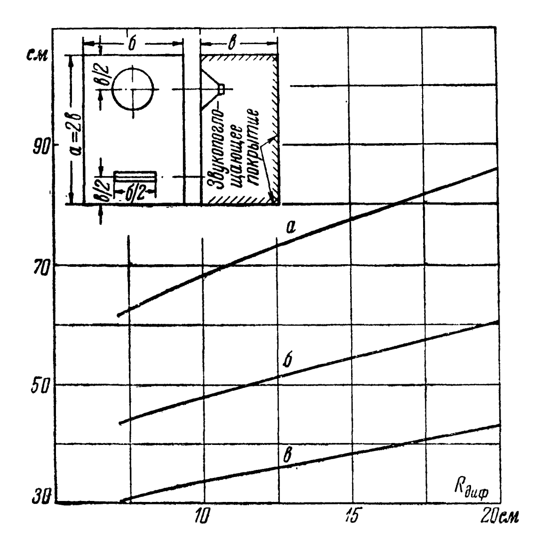


Рис. 18. Кривые зависимости размеров ящика фазоинвертора от радиуса диффузора.
а — высота; *б* — ширина; *в* — глубина.

Расположение фазоинвертора в углу помещения способствует улучшению воспроизведения низших частот, а благодаря отражению звука ограждающими поверхностями помещения повышается уровень звукового давления, т. е. возрастает громкость. В открытом пространстве отражения звука отсутствуют, в результате чего уровень звукового давления при одном и том же громкоговорителе становится меньшим, чем в помещении.

Более точный расчет объема ящика фазоинвертора и площади отверстия в нем в зависимости от частоты его резонанса, учитывающий также соотношение сторон отверстия и толщину его краев, может быть сделан по номограмме на рис. 20. Номограмма построена в соответствии с формулой, содержащей установленные экспериментально поправки на соотношение размеров сторон отверстия и на толщину его краев:

$$f_ф^2 = 5\,460^2 \frac{SK^{0,12}}{V(L + S^{0,5})},$$

где $f_ф$ — резонансная частота фазоинвертора, *гц*;
S — площадь отверстия, *см²*;
K — соотношение сторон отверстия;
V — объем ящика, *см³*;
L — толщина краев отверстия, *см*.

Для пользования номограммой сначала следует задаться толщиной стенок ящика у краев отверстия и отношением сторон отверстия (формой отверстия). Затем подсчитывают эффективную площадь диффузора громкоговорителя и, зная основную резонансную частоту громкоговорителя, выбирают резонансную частоту фазоинвертора, равную ей или немного меньшую. После этого проводят на номограмме через принятую толщину краев отверстия горизонтальную линию до пересечения ее с наклонной кривой параметра (площадь отверстия), приблизительно равного эффективной площади диффузора. Из точки пересечения проводят вертикальную линию вниз до пересечения ее с наклонной линией, соответствующей выбранному соотношению сторон отверстия, и далее от этой точки пересечения проводят горизонтальную линию до ее пересечения с вертикальной линией — перпендикуляром, проведенным через точку, соответствующую выбранной резонансной частоте. Цифра на наклонной линии, проходящей через точку пересечения горизонтальной и вертикальной линий, и будет искомым объемом ящика.

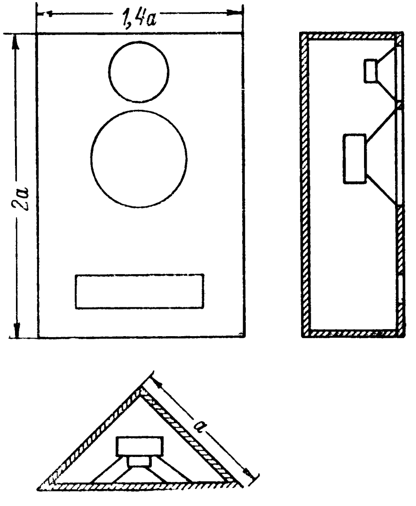


Рис. 19. Конструкция и размеры призмовидного фазоинвертора, предназначенного для размещения в углу комнаты.

В качестве примера определим объем ящика фазоинвертора для громкоговорителя с диффузором диаметром 16 *см* и резонансной частотой подвижной системы 54 *гц*.

Подсчитываем эффективную площадь диффузора:

$$S_{эф} = 0,63\,D_{диф}^2 = 0,63 \cdot 16^2 = 161,5\ см^2.$$

Выбираем отношение сторон отверстия, равное 4, а толщину краев отверстия 13 *мм*. Пунктирная линия на номограмме, проходящая через принятые данные, показывает, что при равенстве резо-

нансных частот громкоговорителя и фазоинвертора объем ящика последнего должен составить 130 $дм^3$ (130 000 $см^3$).

Правильность расчета и изготовления фазоинвертора, а также его согласования с громкоговорителем можно проверить измерением частотной характеристики полного сопротивления звуковой катушки громкоговорителя или измерением частотной характеристики звукового давления, развиваемого громкоговорителем в области низших частот (приблизительно до 500 *гц*). Первый метод проверки проще, так как для него требуется меньшее количество измерительной аппаратуры и не требуется заглушенного помещения. Второй метод

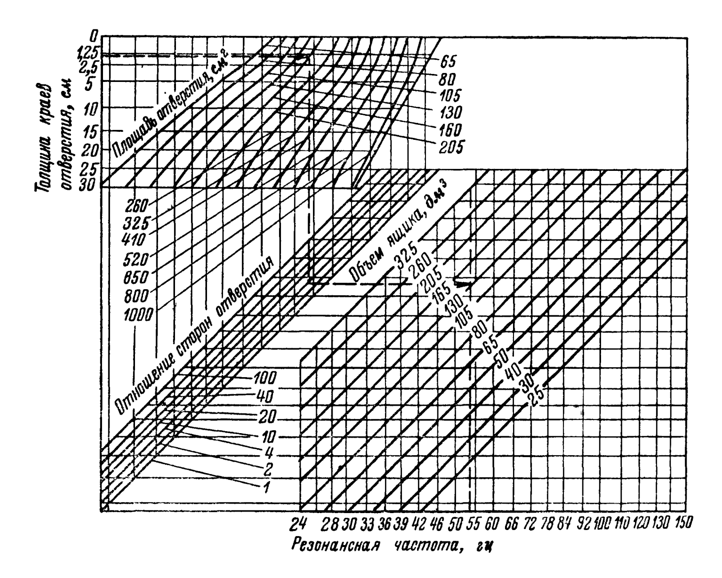


Рис. 20. Номограмма для расчета объема ящика фазоинвертора.

несколько сложнее, но он более ценен тем, что дает более полные сведения о работе громкоговорителя в фазоинверторе Полное сопротивление звуковой катушки может быть измерено низкоомным мостом переменного тока, питаемым от звукового генератора. Значительно проще его можно измерить, собрав схему, приведенную на рис. 21. Эта схема обеспечивает режим «постоянства тока» путем включения последовательно с громкоговорителем сопротивления R, в 30—50 раз большего сопротивления его звуковой катушки. Независимость величины тока от величины полного сопротивления громкоговорителя позволяет измерять это сопротивление в единицах электрического напряжения, которое пропорционально сопротивлению громкоговорителя. Если необходимо знать абсолютное значение полного сопротивления громкоговорителя, достаточно измерить при какой-либо частоте напряжение на сопротивлении R и рассчитать по закону Ома величину тока. Зная ток и напряжение на громко-

говорителе, аналогичным способом подсчитывают его полное сопротивление.

Резонансную частоту сделанного фазоинвертора можно изменять путем увеличения или уменьшения площади отверстия при помощи подвижной шторки или поворачиваемого «козырька» (рис. 22). Если желательно изменять настройку фазоинвертора, то отверстие в нем следует делать на 20—30% больше расчетного.

В фазоинверторе могут быть дополнительно установлены высокочастотные громкоговорители; таким образом, он обратится в двухполосный звукоизлучатель.

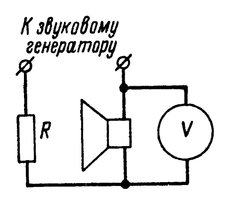
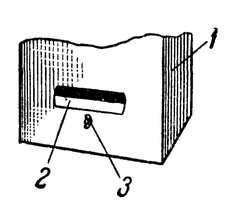


Рис. 21. Схема для измерения частотной характеристики полного сопротивления громкоговорителя.

Если высокочастотные громкоговорители не рупорные, а диффузорные, то их следует изолировать от внутреннего объема ящика жестким колпаком (кожухом), чтобы устранить возможность воздействия на них основного громкоговорителя в области низших частот. При этом должно учитываться уменьшение объема ящика. Следует отметить встречающиеся конструкции фазоинвертора, объединенного с коротким рупором прямоугольного сечения (кинотеатральный громкоговоритель 30А-9АМ), что повышает на 3—5 *дб* отдачу на частотах ниже 100 *гц*. Все изложенное о конфигурации ящика для громкоговорителя относится полностью и к фазоинвертору.



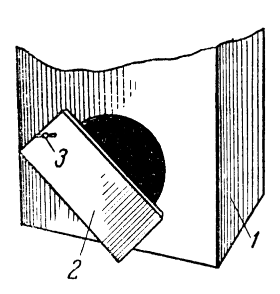


Рис. 22. Способы изменения площади отверстия фазоинвертора.

1 — ящик; *2* — подвижная шторка и козырек; *3* — закрепляющий винт.

РУПОР, ЛАБИРИНТ

Рупор — весьма распространенный акустический элемент, согласующий относительно высокое полное акустическое сопротивление громкоговорителя с довольно низким сопротивлением нагрузки, т. е. воздушной средой. Правильно сконструированный рупор повышает сопротивление излучения и отдачу громкоговорителя в достаточно широком диапазоне частот.

Однако для эффективного воспроизведения низких звуковых частот рупор должен быть значительных размеров, что и составляет

главный недостаток этого вида акустического оформления. Поэтому в настоящее время рупорные громкоговорители находят широкое применение в качестве высокочастотных звеньев («пищалок») в двух- и трехполосных акустических агрегатах, так как для вос-

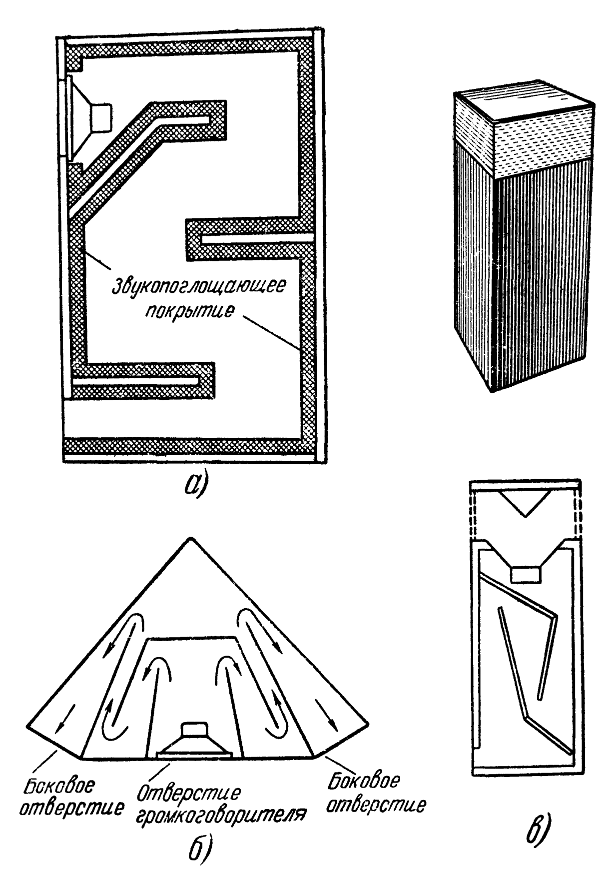


Рис. 23. Конструкции лабиринта.
а — прямоугольной формы; *б* — угловой формы; *в* — радиального громкоговорителя.

произведения высших частот размеры рупора и всего громкоговорителя должны быть небольшими.

Укороченный широкогорлый рупор, называемый также направляющим, не имеет недостатка, свойственного обычным рупорам (большой длины). Он широко применяется в радиальных, кинотеатральных, а также «земляных» громкоговорителях. Рупор используется и в уличных громкоговорителях в сложенном (согнутом)

виде, когда одна его часть помещается в другой, как это сделано в громкоговорителях Р-10, Р-100, имеющих вид колокола.

Некоторое распространение за рубежом получила конструкция сложенного рупора (прямоугольного сечения) (рис. 23), называемая акустическим лабиринтом. Здесь рупор для волны от задней стороны диффузора играет роль волновода, назначение которого создавать фазовый сдвиг для распространяющихся по нему звуковых волн низших частот, т. е. у него то же самое назначение, что и акустического экрана. Основное же излучение звука происходит непосредственно от передней стороны диффузора громкоговорителя. Акустический лабиринт, как это видно из рис. 23,*б*, может быть осуществлен в виде угловой конструкции с двумя боковыми отверстиями. Используется лабиринт и в комнатной конструкции радиального громкоговорителя (рис. 23,*в*).

Для создания фазового сдвига волны от обратной стороны диффузора служат также направляющие рупоры уличных радиальных громкоговорителей (типа ДГР-25), названных так потому, что они излучают звуковую энергию равномерно по всем радиальным направлениям (в горизонтальной плоскости).

Рупоры существуют нескольких форм: конической, параболической, экспоненциальной и др. У каждой из них поперечное сечение рупора возрастает по различным математическим законам. В экспоненциальном рупоре вблизи горла (входного отверстия) увеличение сечения наиболее медленное, что создает более высокое сопротивление излучения в области низших частот. В результате этого при одинаковой самой низкой излучаемой частоте и мощности, а также равных выходных отверстиях конический рупор должен быть во много раз длиннее экспоненциального (в 30 раз при частоте 50 *гц*).

Рупор подобно электрическому фильтру высоких частот обладает низшей воспроизводимой частотой, называемой критической частотой, которая зависит от размеров рупора. Площадь поперечного сечения рупора (S) изменяется для экспоненциального рупора по закону

$$S = S_0 e^{mx},$$

где S — площадь поперечного сечения рупора на расстоянии x от входного (узкого) отверстия;

S_0 — площадь входного отверстия (при $x = 0$);

m — коэффициент расширения рупора, выражающийся равенством

$$m = \frac{4\pi f_{н}}{c} = \frac{4\pi}{\lambda_{н}},$$

где $f_{н}$ — нижняя воспроизводимая частота;

$\lambda_{н}$ — длина волны, соответствующая $f_{н}$;

c — скорость звука (340 *м/сек*).

Кривая на рис. 24 показывает зависимость коэффициента расширения рупора m от нижней воспроизводимой частоты $f_{н}$. Из этой зависимости можно видеть, что чем меньше нижняя воспроизводимая частота, тем медленнее должен расширяться рупор.

Часто применяют рупор такой длины, чтобы периметр его выходного (большого) отверстия равнялся длине волны нижней частоты $\lambda_н$. Для круглого отверстия это означает, что

$$\pi D_{вых} = \lambda_н,$$

где $D_{вых}$ — диаметр выходного отверстия рупора.

Для рупоров с прямоугольным и треугольным отверстиями рис. 25) соответственно $2(а + б) = \lambda_н$ и $3в = \lambda_н$.

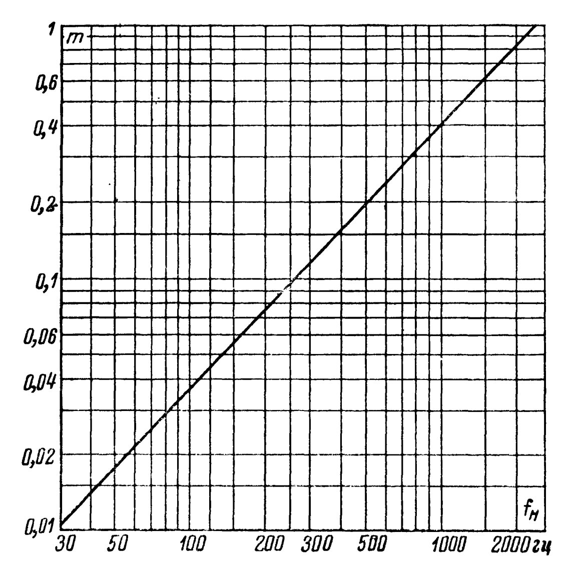


Рис. 24. Зависимость коэффициента расширения m экспоненциального рупора от нижней воспроизводимой частоты $f_н$.

Выведем расчетную формулу для определения полной длины рупора x. Взяв известное уже выражение площади поперечного сечения

$$\frac{S}{S_0} = e^{mx},$$

прологарифмируем его и получим:

$$2{,}3 \lg \frac{S}{S_0} = mx.$$

Из этого выражения, подставив в него значение m, находим полную длину рупора в сантиметрах:

$$x = \frac{2,3c}{4\pi f_{н}} \lg \frac{S}{S_0} = \frac{6\,200}{f_{н}} \lg \frac{S}{S_0}.$$

Для определения длины рупора необходимо знать площади его входного и выходного отверстий. Площадь входного отверстия S_0 определяется диффузором громкоговорителя, а площадь выходного

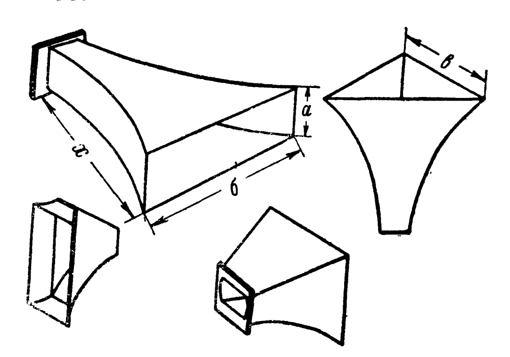


Рис. 25. Экспоненциальные рупоры различной конфигурации.

а — высота выходного отверстия; *б* — ширина выходного отверстия; *х* — длина рупора; *в* — сторона треугольника.

отверстия легко определить из условия равенства его периметра длине волны нижней частоты. При круглом отверстии рупора

$$S = \frac{\pi D^2_{вых}}{4},$$

а при прямоугольном отверстии

$$S = aб, \text{ или } S = ka^2,$$

где $k = \frac{б}{a}$ — отношение сторон выходного отверстия.

В качестве примера рассчитаем полную длину прямоугольного рупора для нижней частоты 70 *гц* ($\lambda_{н} = 4,85$ *м*) при площади входного отверстия 676 *см*² (26×26 *см*) и отношении сторон выходного отверстия $k = 1,5$.

Чтобы определить площадь выходного отверстия, выразим его стороны через длину волны низшей частоты:

$$2(a + б) = \lambda_{н} = 2(a + ka);$$

отсюда $a = \frac{\lambda_н}{2(1+k)}$. Подставив заданные величины, находим: $a = \frac{485}{2(1+1,5)} = 97$ *см* и площадь отверстия $S = ka^2 = 1,5 \cdot 9\,400 = 14\,100$ *см*².

Полная длина рупора

$$x = \frac{6\,200}{70} \lg \frac{14\,100}{676} = 117 \text{ см.}$$

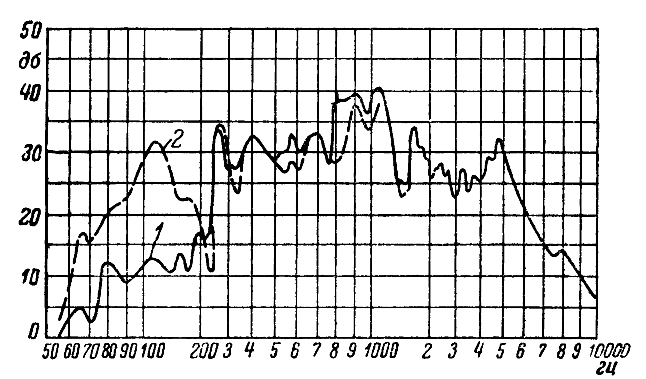


Рис. 26. Частотные характеристики радиального громкоговорителя ДГР-25.

1 — без переделки; *2* — с дополнительным колпаком.

Для практических целей полезно знать, через какие отрезки длины рупора площадь его сечения удваивается. Это произойдет, если в выражении для площади сечения рупора $S = S_0 e^{mx}$ член e^{mx} станет равным 2, а это будет, когда показатель степени $mx = 0,7$. Подставив значение m, найдем:

$$x = \frac{0,7\lambda_н}{4\pi} \approx 0,054\lambda_н,$$

т. е. приблизительно через каждые 0,054 длины волны нижней частоты площадь сечения удваивается. Так как входное отверстие должно быть нам известно, легко определить площади сечения рупора на этих расстояниях.

Следует отметить, что сложенный рупор, как показали практические испытания, хуже воспроизводит высшие частоты из-за потерь при отражениях звука на изгибах рупора. Поэтому в громкоговорителях для высококачественного звуковоспроизведения сложенный рупор не применяется.

Иллюстрацией действия направляющего рупора, называемого также направляющим экраном, служит эксперимент, проделанный автором совместно с В. М. Голубковым для улучшения частотной

характеристики радиального громкоговорителя ДГР-25 в области низших частот (рис. 26). Ввиду того что основной резонанс его низкочастотной головки находился на частоте около 90 *гц*, предполагалось, что плохое воспроизведение частот ниже 250 *гц* обусловливалось недостаточным фазовым сдвигом волны от обратной стороны диффузора. Для увеличения фазового сдвига на направляющий рупор был надет дополнительный рупор (рис. 27), который служил попросту колпаком. Добавление колпака увеличило длину пути огибающей волны (от задней стороны диффузора) приблизительно на 70 *см*.

В результате этого громкоговоритель ДГР-25 стал хорошо воспроизводить низшие частоты до 100 *гц* (пунктирная кривая на рис. 26). Одновременно с этим в частотной характеристике громкоговорителя с колпаком в результате акустического короткого замыкания появился глубокий провал на частоте 230 *гц*. Резкое ослабление воспроизведения частоты 230 *гц* произошло вследствие недостаточно большого габарита колпака и полной осевой симметрии громкоговорителя, о чем уже говорилось в разделе об акустическом экране.

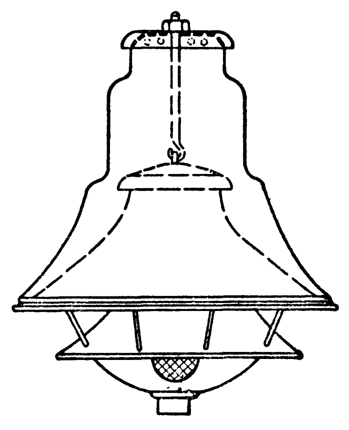


Рис. 27. Эскиз внешнего вида громкоговорителя ДГР-25 с надетым колпаком.

На практике для устранения такого ослабления в направляющий рупор помещают резонансный звукопоглотитель, использующий резонатор Гельмгольца, настраиваемый на частоту провала. Наличие звукопоглотителя, ослабляя амплитуду вычитающейся огибающей (задней) волны диффузора, уменьшает ее вредное действие на частоте, соответствующей резонансу поглотителя.

Для защиты рупорного громкоговорителя от перегрузок и устранения искажений в области частот ниже критической частоты рупора, т. е. в области невоспроизводимых громкоговорителем низших частот, рекомендуется включать фильтр, который не будет пропускать в громкоговоритель частоты ниже $f_н$.

В заключение раздела следует рассмотреть акустическое оформление так называемого «земляного» громкоговорителя мощностью 25 *вт*, показанного в разрезе на рис. 28. Этот громкоговоритель находит применение на стадионах и в других подобных местах, где по архитектурным или другим соображениям установка его на столбах нежелательна. Сложность в конструировании таких громкоговорителей заключается в защите громкоговорящей головки от дождя и сточной воды. Это сравнительчо просто решается тем, что звук излучается головкой через волновод или направляющий рупор, а вода, попадающая в него, не может достигнуть головки благодаря имеющимся отверстиям, через которые она стекает в землю или канализацию.

НАПРАВЛЕННОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ И АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Направленность излучения — довольно важный технический показатель громкоговорителя, указывающий, как распределяется звуковая энергия от громкоговорителя по озвучиваемой площади. Направленность излучения представляет собой зависимость звукового давления, создаваемого громкоговорителем на некотором постоянном расстоянии, от угла между его осью и линией, соединяющей точку в пространстве, в которой измеряется звуковое давление, с центром диффузора или выходного отверстия рупора.

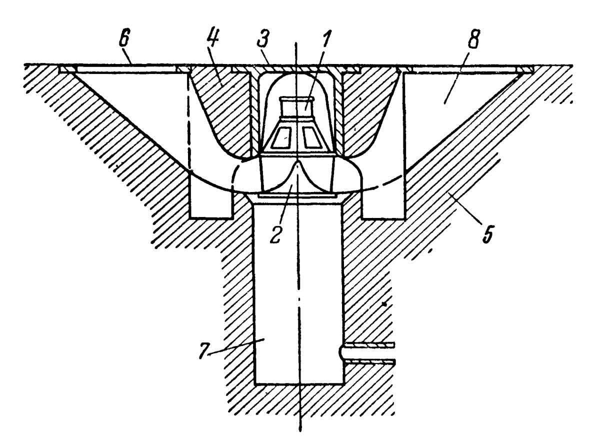


Рис. 28. Разрез конструкции „земляного“ громкоговорителя.

1 — громкоговоритель; *2* — направляющий конус; *3* — крышка; *4* — бетонная стенка волновода: *5* — земля; *6* — крышка с прорезями; *7* — труба для стока воды; *8* — волновод.

Такая зависимость измеряется обычно в горизонтальной и вертикальной плоскостях для нескольких звуковых частот. Графическое изображение указанной зависимости называется характеристикой или диаграммой направленности громкоговорителя. На этой характеристике звуковое давление, развиваемое громкоговорителем, указывают чаще не в абсолютных значениях, а в виде отношения звукового давления при различных углах от оси к давлению на оси громкоговорителя, а также в процентах или децибелах.

Чем больше излучающая поверхность источника звука по сравнению с длиной волны, тем острее направленность излучения. Если волна излучаемого звука велика (низшие частоты), а размеры излучателя много меньше длины этой волны, то источник звука не обладает направленностью. На высших же частотах, т. е. при малых длинах волн, направленность излучателя повышается. На рис. 29 приведены теоретические характеристики направленности излучающего диска диаметром 21 *см*, помещенного в вырезе очень большого экрана. Как видно из рисунка, на средних частотах

(1 600 *гц*) уже явно наблюдается направленность, которая на более высоких частотах (8 000 *гц*) становится очень острой.

Если излучатель звука несимметричен относительно своей оси, то направленность его различна в горизонтальной и вертикальной плоскостях: она будет острее в той плоскости, в которой лежит бо́льшая сторона излучателя. Громкоговоритель с эллиптическим диффузором имеет более острую направленность в той плоскости, в которой лежит большая ось эллипса. То же самое относится и к прямоугольным рупорам.

В большинстве случаев звуковоспроизведения значительная острота направленности излучения громкоговорителя нежелательна,

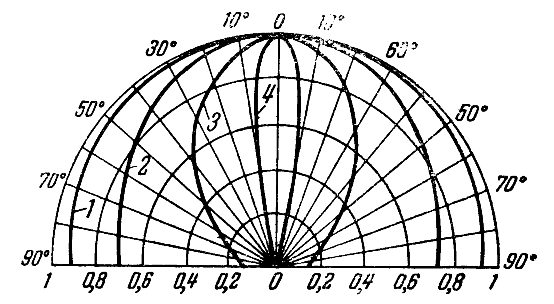


Рис. 29. Теоретические характеристики направленности колеблющегося на различных частотах диска диаметром 21 *см*, помещенного в разрезе очень большого экрана.

1 — 400 *гц*; *2* — 800 *гц*; *3* — 1 600 *гц*; *4* — 8 000 *гц*.

так как при этом ограничивается пространство, в котором равномерно слышна вся полоса воспроизводимых частот. Обычно направленность излучения сказывается на воспроизведении частот выше 1—2 *кгц*. Это означает, что прослушивание в стороне от оси громкоговорителя будет сопровождаться ослаблением высших частот. Поэтому размещение громкоговорителей только на верхних или только на боковых сторонах ящиков не рекомендуется. Эта же причина препятствует удовлетворительному пространственному распределению интенсивности звука в помещении.

Ощущение локализованного положения источника звука полезно иметь при речевых передачах, когда определенное месторасположение чтеца может способствовать лучшему восприятию излагаемого материала, концентрируя внимание слушателя. Совершенно другие условия требуются для воспроизведения музыкальных произведений, особенно исполняемых большими ансамблями (симфонические оркестры, хоры и т. п.). В этом случае необходима возможно более широкая характеристика направленности на высших частотах. Хотя такое звучание еще далеко от натурального, все же ослабление эффекта локализованного звука в месте расположения громкоговорителя значительно улучшает качество восприятия музыкальных произведений.

Таким образом, для звуковоспроизведения в домашних условиях предпочтительнее использование громкоговорителей с малой

направленностью. Очередным этапом улучшения качества звучания радиоприемников было введение в 1954 г. объемного звучания (системы 3*D* и 4*R*), обладающего ненаправленным излучением всего диапазона частот вплоть до самых высоких.

В ряде случаев использования громкоговорителей направленность их излучения необходима и весьма полезна. К таким случаям относится озвучивание больших площадей, подобных трибунам стадионов, зеленых театров и т. п. Здесь направленность излучения громкоговорителей позволяет повысить неизменность звукового уровня в разных точках озвучиваемой площади и сэкономить

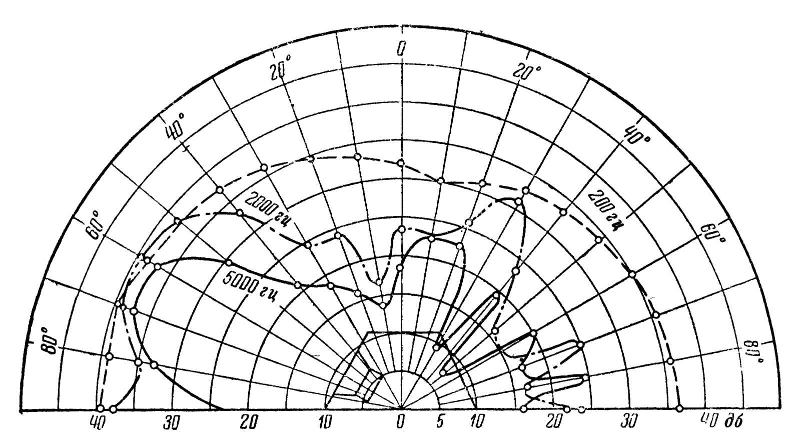


Рис. 30. Характеристики направленности громкоговорителя в ящике на стене.

мощность усилителя, так как при этом звуковая энергия в направлениях, где отсутствуют слушатели, не расходуется. Направленность громкоговорителей ценна и в звукоусилительных установках (микрофон — громкоговорители), где она способствует соответствующей ориентацией громкоговорителей ослаблению их воздействия на микрофон и благодаря этому устранению акустической обратной связи.

В звуковом кино направленность излучения громкоговорителей, установленных за экраном, увеличивает натуральность кинопоказа, «привязывая» звук к изображению. То же относится и к телевидению.

В соответствии с изложенным влияние направленности излучения громкоговорителя должно отражаться как в характеристике направленности, так и в частотной характеристике громокоговорителя, измеренной при различных положениях микрофона. Для иллюстрации этой связи на рис. 30 приведена характеристика направленности, а на рис. 31—частотная характеристика громкоговорителя, смонтированного сбоку в ящике настенной конструкции трапецеидальной формы. Ящик рассчитан на установку в нем двух громкоговорителей симметрично.

Из приведенных характеристик видно, что при частоте 2 *кгц* и выше направленность излучения сильно обострена. В результате этого частотная характеристика громкоговорителя, измеренная при положении микрофона приблизительно под углом 120° к оси диффузора, показывает резкое ухудшение воспроизведения частот выше 1,5 *кгц*, тогда как характеристика, измеренная при положении микрофона напротив громкоговорителя, не содержит такого провала. Добавление второго, симметрично расположенного гром-

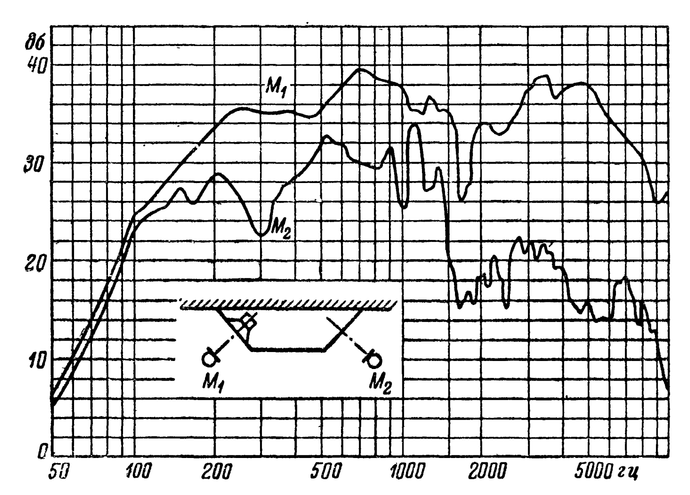


Рис. 31. Частотные характеристики громкоговорителя в ящике на стене для двух положений измерительного микрофона (M_1 и M_2).

коговорителя значительно улучшило характеристику направленности (рис. 32).

Направленность излучения громкоговорителя может зависеть не только от размеров излучателя (диффузора, отверстия рупора), но также от акустического оформления и взаимного расположения громкоговорителей, если они установлены в общем оформлении (ящик, щит).

Направленность излучения получается всегда в результате интерференции волн либо между излучением от различных участков поверхности излучателя, либо между прямой и огибающей громкоговоритель волнами, либо между излучением различных громкоговорителей, если они установлены в общем оформлении. Первая причина направленности диффузорного громкоговорителя заложена в нем самом (зависит от размеров его диффузора) и поэтому не поддается изменению.

Направленность излучения от акустического оформления зависит от величины сдвига фазы между прямой и огибающей волнами диффузора, а также от направления на точку приема звука, т. е. угла между осью громкоговорителя и линией из центра диффузора

в эту точку. Максимальный фазовый сдвиг огибающей волны получается в точках, расположенных вдоль оси громкоговорителя, поэтому по мере удаления в стороны от этой оси фазовый сдвиг огибающей волны уменьшается. В связи с этим результирующий сдвиг фазы между прямой и огибающей волнами диффузора увеличивается и звуковое давление низших частот уменьшается.

В любой из точек приема звука, за исключением точек, лежащих вблизи краев акустического экрана (равноудаленных), фазовый сдвиг при большем экране будет больше. Поэтому чем больше акустический экран, тем при большем угле точки приема фазовый сдвиг станет равным длине волны (произойдет акустическое корот-

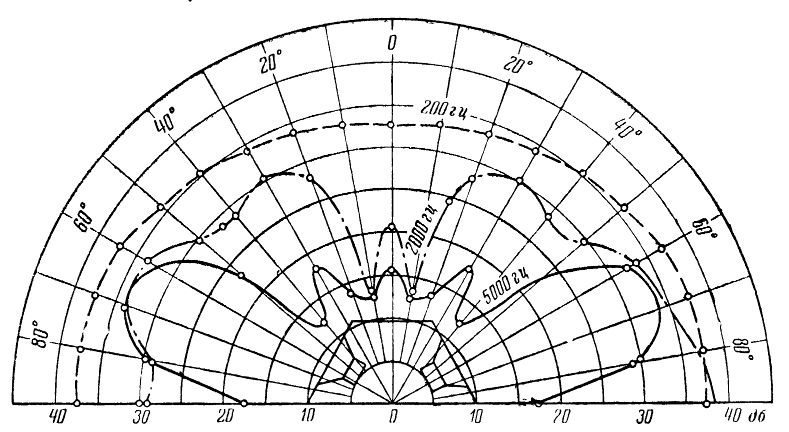


Рис. 32. Характеристика направленности двух громкоговорителей в ящике.

кое замыкание). Следовательно, чем больший сдвиг фазы огибающей волны создает акустическое оформление громкоговорителя, тем у него более широкая характеристика направленности на низших частотах. Этот фактор хорошо подтверждается характеристикой средней направленности в полосе частот 75—150 *гц* радиального громкоговорителя ДГР-25 в вертикальной плоскости. После надевания на громкоговоритель колпака (см. предыдущий параграф), увеличивающего сдвиг фазы огибающей волны, направленность его излучения в той же полосе частот сильно понизилась и на этих частотах громкоговоритель стал почти ненаправленным.

Подобным образом интерференция между излучением двух и более громкоговорителей, установленных в общем акустическом оформлении, влияет на характеристику направленности системы в зависимости от излучаемой частоты и расстояния между громкоговорителями. Такой случай имеет практическое применение в двухполосных громкоговорящих агрегатах, когда низкочастотный и высокочастотный громкоговорители установлены друг от друга на расстоянии, равном длине волны, соответствующей частоте разделения (граничная частота между рабочими полосами частот обоих громкоговорителей), или в радиоприемниках, у которых часто на

передней панели установлены два одинаковых громкоговорителя.

Диаграмму направленности для горизонтального ряда нескольких громкоговорителей, расположенных на равном расстоянии друг от друга и одинаковых по мощности и фазе, можно рассчитать по формуле

$$P = \frac{\sin \frac{M\pi d \cos \alpha}{\lambda}}{M \sin \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda}},$$

где P — сумма излучения нескольких громкоговорителей, развивающих звуковые давления, амплитуда которых равна единице;
M —число громкоговорителей;
d — расстояние между громкоговорителями;
λ — длина волны звука, для которой рассчитывается характеристика направленности;
α — угол между линией громкоговорителей и линией, идущей в точку приема от крайнего громкоговорителя (левого).

Для вертикального ряда громкоговорителей формула дает диаграмму направленности в вертикальной плоскости.

Для случая только двух громкоговорителей ($M = 2$) приведенная выше формула упрощается и принимает следующий вид:

$$P = \cos \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda}.$$

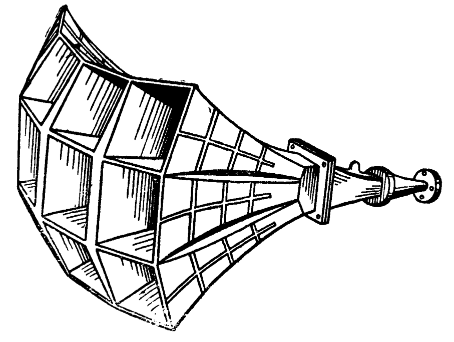


Рис. 33. Многоячейковый сферический рупор.

Обе формулы дают значения P диаграммы направленности в долях единицы, которые могут быть обращены в проценты путем умножения на 100, а чтобы получить значения в децибелах, вместо P подсчитывают 20 log P.

В высокочастотных рупорных громкоговорителях («пищалках») с успехом применяются два средства, расширяющие характеристику направленности громкоговорителя на высших частотах. Первое средство, более старое, состоит в секционировании рупора, в результате чего он превращается в пучок примыкающих друг к другу рупоров меньшего сечения, оси которых криволинейны и располагаются веером (рис. 33).

Принцип действия такого устройства заключается в том, что хотя направленность излучения каждой секции рупора вдоль оси возрастает на высших частотах, благодаря тому, что оси отдельных рупорных секций развернуты веером, их излучение направлено в пределах более широкого угла, образуемого веером оси. Здесь угол раствора характеристики направленности практически не зави-

сит от частоты, так как он определяется пространственным расположением отдельных секций рупора. Это эквивалентно излучению группы отдельных громкоговорителей, расположенных рядом на сферической поверхности так, что их оси, сходящиеся в центре сферы, образуют одинаковые острые углы одна с другой.

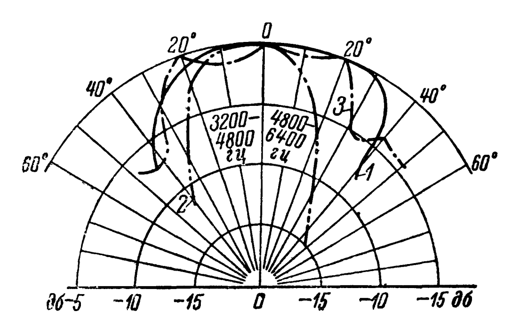


Рис. 34. Характеристики направленности высокочастотного громкоговорителя 30А-3.
1—с линзой; *2*—без линзы; *3*—с 6-ячейковым секционированным рупором.

Другим эффективным средством ослабления направленности рупорного громкоговорителя является акустическая линза, более простая в изготовлении, чем секционированный многоячеечный рупор. Принцип действия акустической линзы подобен действию оптических рассеивающих линз, преобразующих плоскую волну,

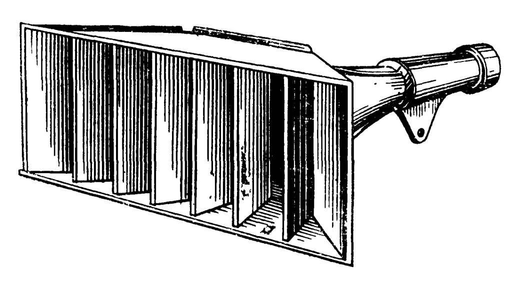


Рис. 35. Внешний вид акустической линзы с рупором для высокочастотного громкоговорителя 30А-3.

распространяющуюся вдоль оси, в сферическую или цилиндрическую волну меньшей направленности.

Различие между оптическими и акустическими линзами состоит в том, что оптическая линза преобразует плоскую волну, изменяя ее скорость при прохождении сквозь линзу, и тем больше, чем больше ее путь в линзе. Изменение скорости волны в линзе обуслов-

лено ее материалом (стеклом), в котором скорость распространения света меньше, чем в воздухе. В акустической линзе скорость звука везде одинакова и преобразование волны происходит вследствие различия длины путей волн, проходящих через линзу в центре и на периферии. Изменение длины путей волн в акустической линзе осуществляется наклонными каналами или щелями, удлиняющими путь звуковой волны, создаваемой громкоговорителем.

Результаты применения секционированного рупора и акустической линзы приведены на характеристиках направленности (рис. 34). В зависимости от осевой симметрии линзы можно расширить характеристику направленности рупорного громкоговорителя как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях или только в одной из них. На рис. 35 показан внешний вид линзы с рупором для высокочастотного громкоговорителя 30А-3, расширяющей диаграмму направленности громкоговорителя в горизонтальной плоскости, которая изображена на рис. 34.

Требованиями надлежащей направленности вызвано создание широко применяемых в последнее время звуковых колонок. В них в прямоугольном или цилиндрическом ящике установлены вертикально в один или два ряда пять — восемь однотипных громкоговорителей (рис. 36), что позволяет получить малую направленность их излучения в горизонтальной плоскости и увеличивает направленность в вертикальной плоскости. Кроме того, объединение нескольких громкоговорителей повышает общий к. п. д. системы, так как излучаемая звуковая энергия возрастает пропорционально квадрату площади излучателя (диффузора), а расходуемая усилителем электрическая мощность возрастает в первой степени.

Таким образом, два установленных рядом громкоговорителя повышают к. п. д. (отдачу) почти в 2 раза, так как потребляемая от усилителя мощность удваивается, а звуковая энергия учетверяется (2^2) по сравнению с одним громкоговорителем.

Значительное увеличение направленности звуковых колонок в плоскости, параллельной их большему размеру, позволяет успешно бороться с возникновением акустической генерации при звукоусилении в театральных залах, аудиториях и других помещениях, где применение рупорных громкоговорителей недопустимо по архитектурно-декоративным соображениям.

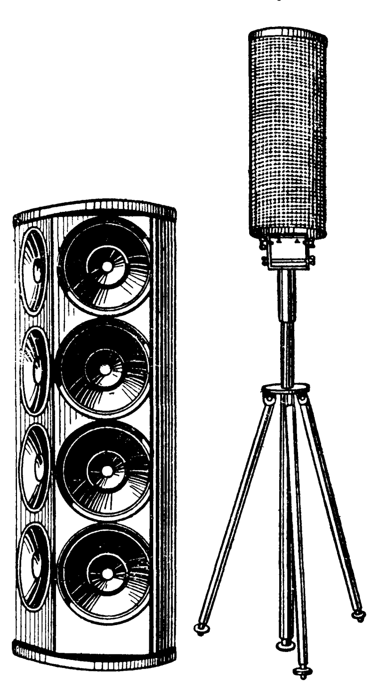


Рис. 36. Внешний вид звуковой колонки 10 КЗ-1 со снятым кожухом и на треноге.

ВИБРО- И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

Помимо соответствия габаритов и формы акустического оформления, оно должно быть сделано так, чтобы не имело щелей и не выбрировало при работе громкоговорителя, так как вибрации отдельных элементов оформления, обычно панелей, возникающие на их резонансных частотах при работе громкоговорителя, порождают призвуки, искажающие основной сигнал.

Хороший способ уменьшения вибрации панелей акустического оформления заключается в установке громкоговорителя на панели через мягкую прокладку (микропористая или вакуумная резина, пенопласт ПХВЭ, войлок и пр.), способную снизить уровень вибраций на 15—20 *дб.* При таком креплении громкоговорителя необходимо, чтобы крепящие винты или болты не касались диффузородержателя.

Распространенное средство борьбы с вибрациями панелей состоит в увеличении их жесткости путем применения дополнительных «ребер жесткости» (планок) или утолщении панелей. Однако простое увеличение жесткости лишь повышает резонансные частоты панелей и меняет характер их вибраций и излучения, так как изменяются число вибрирующих поверхностей и их размеры. Утолщение панелей, кроме того, увеличивает вес и стоимость оформления. Поэтому для изготовления оформления более радикально применять материалы, обладающие повышенными внутренними потерями колебательной энергии при его деформации (повышенным «внутренним трением»), а также достаточно высокой упругостью. Такие материалы, называемые вибродемпфирующими или вибропоглощающими, можно нанести на обычные панели акустического оформления.

Вибропоглощающие материалы превращают часть колебательной энергии вибраций в тепло и увеличивают механическое сопротивление панелей, чем понижают амплитуду вибраций. Особенно эффективно вибродемпфирование при резонансных частотах, когда возрастают амплитуды вибраций и деформации на изгиб или сдвиг вибропоглощающего материала, а с ними увеличиваются и потери колебательной энергии.

Вибродемпфирующие свойства материала характеризуются его логарифмическим декрементом затухания (точнее, произведением декремента на модуль упругости). Декремент затухания определяется по осциллографической записи затухающих колебаний пластины из испытываемого материала, которая возбуждается ударом или вибратором. При записи устанавливают величины двух амплитуд, отстоящих на период, и определяют декремент затухания по формуле $d=\ln\frac{A_1}{A_2}$, где A_1 — начальная и A_2 — последующая измеренные амплитуды.

Если колебания испытываемой пластины затухают медленно, то соседние амплитуды мало отличаются одна от другой. В таких случаях определяют амплитуды, отстоящие на любое число периодов n, а декремент затухания подсчитывают по формуле

$$d=\frac{1}{n}\ln\frac{A_1}{A_n},$$

где A_1—начальная амплитуда и A_n—n-я амплитуда через n периодов.

Практическое представление о декременте затухания панели дают звонкость и длительность ее звучания после того, как, держа панель на весу за один угол, ударяют по ней суставом пальца или куском дерева. Длительный звонкий звук после удара, получающийся у металлических панелей, говорит о малом декременте затухания, в то время как короткий, глухой звук указывает на значительные внутренние потери в материале.

Измерение декремента затухания панелей толщиной 6 *мм* из различных пород дерева показало, что он равен: для сосны — 0,02, для бука — 0,03, для фанеры — 0,04. Из этих данных преимущество фанеры как материала с более высокими вибропоглощающими свойствами очевидно. Хорошими вибропоглощающими свойствами обладают слоистые панели, составленные из чередующихся слоев тонкой (2—3 *мм*) фанеры и резины, линолеума или пробки. Очень высоким вибродемпфирующим свойством обладает сухой песок, которым некоторые авторы рекомендуют засыпать пространство между двумя панелями из тонкой фанеры или пластмассы. Хорошим вибропоглощающим свойством обладают древесно-волокнистые плиты, иногда называемые сухой штукатуркой, которые имеют декремент затухания около 0,08. Используя этот материал для акустического оформления, наружные поверхности его можно оклеить тонкой фанерой ценных пород дерева (фанеровать).

Все же самым простым и дешевым средством получения достаточного декремента затухания панелей акустического оформления, изготовленных из любого материала вплоть до алюминия или стали, следует считать нанесение на них покрытия, обладающего повышенными внутренними потерями. Хорошим вибропоглощающим покрытием может служить кровельный материал рубероид, представляющий собой пористый картон, пропитанный битумом. Рубероид выпускается свернутым в рулоны (16 *м* длины при 1 *м* ширины). Толщина слоя рубероида 1,2—1,5 *мм*, декремент затухания 0,4 и модуль упругости 25 000 *кГ/см*^{2}. Рубероид наклеивают двумя-тремя слоями на панель резиновым клеем или клеем № 88.

Более удобны для нанесения в качестве покрытия противошумовые мастики № 579 и 580, употребляемые в автомобильной промышленности (выпускаются Ярославским и Челябинским лакокрасочными заводами). Эти мастики (изготовляются на битумной основе) наносят на панель жесткой кистью или лопаточкой. Затвердевают они при комнатной температуре. Декремент затухания этих мастик приблизительно 0,7, а модуль упругости — около 2 500 *кГ/см*^{2}. Мастичное покрытие делают толщиной 3—6 *мм*, причем наносить его нужно слоями в несколько приемов, чтобы каждый слой успел отвердеть. Применяя вибропоглощающее покрытие, следует учитывать, что степень демпфирования вибраций или декремент затухания панели с покрытием пропорциональны его толщине, т. е. чем толще покрытие, тем больше демпфирование.

Необходимо также иметь в виду, что если между демпфируемой панелью и вибропоглощающим покрытием поместить слой достаточно жесткого материала (слой пенопласта ПХВ-1 или ПС-1 толщиной 6—12 *мм*), то отнесение вибропоглощающего покрытия от демпфируемой панели увеличит его деформацию (растяжение и сжатие) при вибрациях. Результатом возросших деформаций вибропоглощающего материала будет увеличение колебательной энергии вибраций, обращаемой в тепло, т. е. демпфирование увеличится.

Применение промежуточного слоя позволяет снизить толщину вибропоглощающего покрытия (приблизительно 1 *мм* на 5 *мм* прослойки) без ухудшения его демпфирующих свойств.

Промежуточный слой может быть не сплошным, а иметь пропуски, составляющие 10—20% всей площади панели, что удобно для практичеких целей, так как позволяет, сохранив демпфирующие свойства, делать промежуточный слой из многих кусков материала. При этом куски материала должны быть одинаковой толщины для получения ровной поверхности и надежного склеивания с рубероидом.

Применение на панелях акустического оформления вибропоглощающего покрытия приводит к увеличению общей жесткости панели, а поэтому представляется возможным в 1,5—2 раза снизить толщину панелей без опасения увеличения их вибраций. Следует заметить, что для вибропоглощающего покрытия непригодны резина или войлок, потому что они, имея удовлетворительный декремент затухания (0,3—0,6), обладают невысоким модулем упругости (300—2 000 $кГ/см^2$).

Однако эти же материалы и гидроизоляционный материал изол позволяют осуществить другую хорошую конструкцию вибродемпфированных панелей. В ней материалы при вибрациях испытывают сдвиговые деформации (на срез), и поэтому внутренние потери в них получаются бóльшими, чем когда они нанесены на одной стороне панели. В этой конструкции наружные слои панели делают из фанеры толщиной 6—8 *мм*, а внутренний слой — из технической резины, изола или войлока такой же толщины. Эти три слоя склеивают между собой клеем № 88, причем если используют войлок, то клей наносят только на фанеру.

Следует отметить, что нанесение вибропоглощающих покрытий может быть полезным не только в акустическом оформлении громкоговорителей, но и во многих других случаях борьбы с вибрациями, например для ослабления вибраций панели проигрывателя с электродвигателем и звукоснимателем.

Выше было показано значение звукопоглощающего покрытия на внутренних поверхностях закрытого ящика или фазоинвертора, которое применяется для уменьшения отражений от них и интерференции со звуковыми волнами от задней стороны диффузора громкоговорителя. Звукопоглощающее покрытие, применяемое в акустическом оформлении, обязательно должно быть пористым. Механизм действия такого покрытия состоит в том, что звуковые волны, проникая в поры материала (капиллярные каналы), рассеивают (теряют) свою звуковую энергию благодаря вязкому трению в узких каналах и теплообмену между воздухом в порах и стенками этих пор (каналов). Поэтому чем толще покрытие, тем больше его звукопоглощающая способность.

В качестве звукопоглощающего материала для акустического оформления лучше всего применять волокнистые и пористые материалы, такие, как войлок и фильц, минеральная, стеклянная, капроновая или хлопчатобумажная вата. Толщина звукопоглощающего покрытия из войлока должна быть 5—10 *мм*, а из ваты—2 — 4 *см*.

Для того чтобы нанести поглотитель из ваты на внутренние поверхности ящика, необходимо предварительно сделать из нее заготовки, представляющие собой подобие матов. Для их изготовления берут куски картона, размеры которых должны соответство-

вать внутренним поверхностям ящика, и раскладывают на них слой ваты желаемой толщины. Поверх слоя ваты кладут марлю или какую-нибудь другую неплотную (редкую) материю, после чего этот трехслойный пакет прошивают (простегивают) в нескольких местах суровой ниткой. Изготовленные таким способом пакеты прикрепляют к панелям внутри ящика несколькими небольшими шурупами или гвоздями так, чтобы картон был обращен к панелям, а вата — внутрь ящика.

В последнее время наша промышленность стала выпускать новый пористый эластичный материал пенополиуретан (поролон), который продается в виде ковриков, губок, игрушек и т. п. Этот материал, как показали измерения, обладает неплохими звукопоглощающими свойствами. Поэтому очень удобно пенополиуретановые коврики толщиной 2—4 *см* применять в качестве звукопоглощающего покрытия в акустическом оформлении громкоговорителей. Для повышения звукопоглощающих свойств таких ковриков полезно использовать их в течение короткого времени по прямому назначению, т. е. походить по ним. В результате этого пористость ковриков увеличивается вследствие механического разрыва пленочек, открывающих дополнительные капилляры.

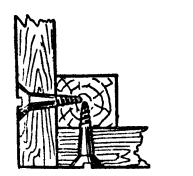
Звукопоглощающее покрытие наносят на бо́льшую часть внутренней поверхности ящика. Если имеется недостаточное количество звукопоглощающего материала, то лучше им покрывать противоположную громкоговорителю сторону ящика и площадь, близкую к нему.

В качестве жесткого звукопоглощающего материала можно использовать древесно-волокнистые плиты толщиной 1,5—2,5 *см*, имеющие также пористую структуру. Для этой цели древесно-волокнистые плиты прикрепляют в один-два слоя (в зависимости от их толщины) к внутренним поверхностям ящика или располагают на обеих боковых панелях ящика перпендикулярно им в виде гребенки из трех — пяти листов. Ширина этих гребенок может быть различной и должна составлять 0,25—0,4 ширины ящика, а расстояние между ними — 10—15 *см*. Звукопоглощающие гребенки могут быть прикреплены ко дну или крышке ящика, если это окажется более удобным, но при условии расположения их перпендикулярно тем панелям, к которым они крепятся.

Вероятно, самым удобным, простым и дешевым звукопоглотителем для акустического оформления громкоговорителей будет полужесткий древесно-волокнистый материал, широко выпускаемый для весьма далеких от акустики целей, но который можно успешно использовать и для эффективного звукопоглощения. Он представляет собой литые формы для упаковки яиц. Размер стороны такой формы 31 *см*, высота 5 *см*, а толщина самого материала приблизительно 1,5 *мм*. Эти формы нужно сложить (одну в другую) по 5—8 шт. в пакет общей высотой около 7—8,5 *см* и прикрепить к внутренним поверхностям ящика. Если почему-либо окажется трудно достать необходимое количество форм, то число их в пакете можно уменьшить до 3—4 шт. и проложить между ними какую-либо вату.

Для изготовления акустического оформления необходимо обладать столярными навыками. Соединение панелей на шипах в домашних условиях нецелесообразно из-за большой трудоемкости работы. Кроме того, если панели из древесно-волокнистого мате-

риала или покрыты вибродемпфирующим слоем, то сделать достаточно хорошим такое соединение невозможно. Наиболее подходящим способом соединения панелей в домашних условиях можно считать скрепление их при помощи металлических уголков или деревянных брусков так, как это показано на рис. 37. Уголки устанавливают на винтах (болтах), а бруски — на шурупах. Рекомендуется до закрепления уголков или брусков приклеить уголки к панелям клеем № 88, а бруски — казеиновым или столярным клеем. Общее представление о конструкции акустического оформления и объеме работ, связанных с его изготовлением, дает рис. 38.



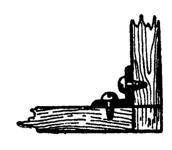


Рис. 37. Способы соединения панелей.

Самое трудное и ответственное дело заключается в отделке внешних поверхностей акустического оформления, поскольку они определяют его общий вид. Фанерование ценными породами дерева и последующая полировка поверхностей придают оформлению привлекательный вид. К сожалению, такую отделку могут позволить себе немногие, так как она требует, помимо соответствующих материалов, высокой квалификации. Поэтому лучше использовать фанерованные древесно-волокнистые плиты. Другой способ отделки акустического оформления заключается в покрытии его поверхности декоративной тканью (радиотканью), которую натягивают на покрываемую поверхность и обрамляют декоративными рейками или багетом. На тех поверхностях, где нет громкоговорителей, вместо декоративной ткани можно натягивать цветную хлорвиниловую пленку и текстовинил подходящего цвета и рисунка. Для этих же поверхностей можно использовать любую тонкую ткань, цветную бумагу или обои соответствующего рисунка, защитив их прозрачной полиэтиленовой или хлорвиниловой пленкой. Внешний вид разнообразных отделок акустических оформлений показан на рисунках в следующем параграфе.

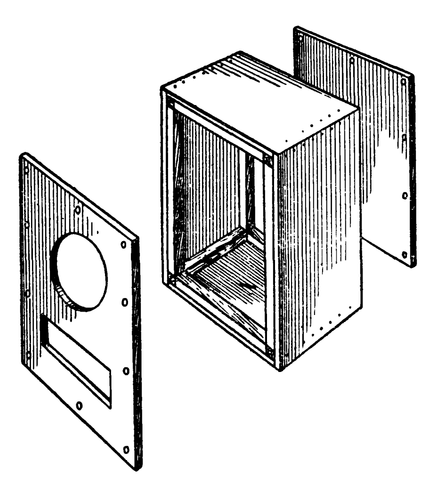


Рис. 38. Эскиз конструкции ящика для фазоинвертора.

Если громкоговоритель, предназначенный для воспроизведения достаточно высоких частот, устанавливается в глубине ящика или

в прорези, сделанной в толстой стене (20—30 *мм*), то воспроизведение высших частот может ухудшиться, так как перед диффузором образуется объем воздуха, увеличивающий эффективную массу подвижной системы. В этом случае отверстие для громкоговорителя полезно прорезать в виде конуса с углом раствора 45° к поверхности панели или крепить громкоговоритель к наружной ее стороне.

Значительное влияние на излучение высших частот оказывают всякого рода облицовочные и декоративные элементы, шелк, решетки, жалюзи и т. п. Так, слишком плотный шелк или густая решетка (сетка) могут внести затухание и ослабить излучение высших частот. Те же решетки и жалюзи при значительной их толщине могут иногда вызвать резонансные явления, следствием чего на частотной характеристике появятся дополнительные пики и провалы. Поэтому дополнительное оформление следует применять весьма осторожно и не вводить излишних усложнений.

Диффузор громкоговорителя следует защитить от внешнего механического повреждения, прикрыв отверстие (под декоративной тканью) металлической или пластмассовой сеткой со стороной ячейки 3—8 *мм*. В случае отсутствия готовой сетки можно ее сделать самому из лески «сатурн» толщиной 0,6—0,8 *мм*, которую натягивают без переплетения на гвоздиках, набитых вокруг отверстия.

АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРИ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОМ ЗВУКОВОСПРОИЗВЕДЕНИИ

Стереофоническое воспроизведение звука в домашних условиях начинает получать широкое распространение. Стереофоническая система придает звуковоспроизведению совершенно новые свойства, резко повышающие качество воспроизведения звука и его воздействие на слушателя.

Нет никакого сомнения в том, что в ближайшие годы стереофоническое звуковоспроизведение радиопередач и звукозаписи станет

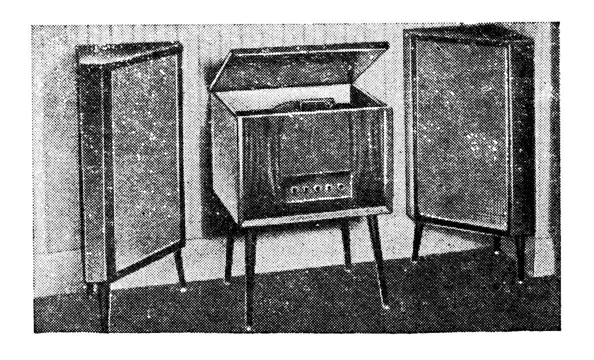


Рис. 39. Внешний вид установки для двухканального стереофонического звуковоспроизведения.

массовым явлением. В связи с этим целесообразно ознакомиться с особенностями акустического оформления громкоговорителей, используемых в двухканальных стереофонических системах, как наиболее простых и дешевых.

Особенности работы громкоговорителей в двухканальных стереофонических системах недостаточно изучены, и поэтому определенные специфические параметры и нормы для стереофонического акустического оформления еще не разработаны. Однако известно, что излучение низших частот (до 300 *гц*) практически не оказывает влияния на стереоэффект, который зависит от излучения средних и высших частот. Известно также, что расстояние (стереобаза) между фронтально расположенными громкоговорителями, работающими в отдельных каналах, должно быть не менее 1,0—1,2 *м*.

Вследствие этого однотипные громкоговорители обоих каналов стереофонической установки могут быть объединены с приемно-усилительной и проигрывающей аппаратурой (магнитофон, граммофонный проигрыватель) или представлять собой два отдельных разнесенных громкоговорителя. В обоих случаях в каждом канале может работать как один, так и большее число громкоговорителей, т. е. может использоваться двух- и трехполосная громкоговорящая система. В стереофоническом воспроизведении используются обе эти возможности. Однако применение двух отдельных громкоговорителей позволяет изменять стереобазу и направления максимального их излучения, чем создается более гибкая система для регулиро-

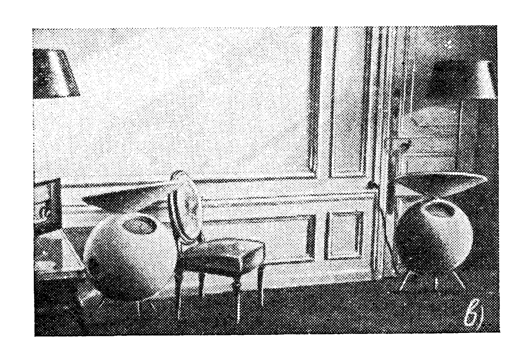


Рис. 40. Оформление громкоговорителей в форме сферы.

вания стереоэффекта. Недостаток разнесенных громкоговорителей заключается в том, что они более заметны на фоне мебели, хотя в ряде случаев удачным акустическим оформлением этот недостаток удается сгладить.

Наиболее простое акустическое оформление для стереофонического звуковоспроизведения состоит из двух звуковых колонок. Более совершенные двух- и трехполосные громкоговорящие системы выполняют в ящиках прямоугольной или угловой конструкции (рис. 39), причем последние позволяют при недостатке площади помещения подвесить их на стене. Заслуживает внимания оформле-



Рис. 41. Внешний вид стереофонической радиолы.

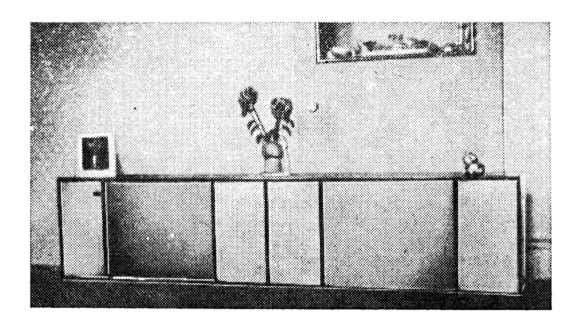


Рис. 42. Внешний вид стереофонической системы громкоговорителей.

ние громкоговорителей в форме сферы, экспонированное на одной из радиовыставок (рис. 40).

Значительно более разнообразным может быть ассортимент акустического оформления громкоговорителей, объединенных в одном стереофоническом агрегате. В этом случае оформление имеет вид радиомебели (рис. 41).

Несколько необычная конструкция акустического оформления показана на рис. 42. Она представляет собой комбинацию двух пар громкоговорящих систем, расположенных в фазоинверторах так, чтобы одна пара излучала звук направленно (в горизонтальной плоскости), а другая — ненаправленно, что, по мнению автора этой конструкции, повышает качество звуковоспроизведения и стереоэффект. Последний улучшается еще тем, что средняя часть оформления сделана похожей на крайние, для того чтобы создать видимость расположения громкоговорителей и в центре, якобы для облегчения ощущения локализации источника звука в середине (при двухканальной стереофонии). Каждая из четырех двухполосных систем громкоговорителей смонтирована в фазоинверторе (рис. 43).

Следует упомянуть о целесообразности установки на боковых стенках стереорадиолы по одному высокочастотному громкоговорителю, смонтированному в клиновидном ящике. Эти громкоговорители можно выдвигать из радиолы и поворачивать вокруг вертикальной оси для повышения стереоэффекта.

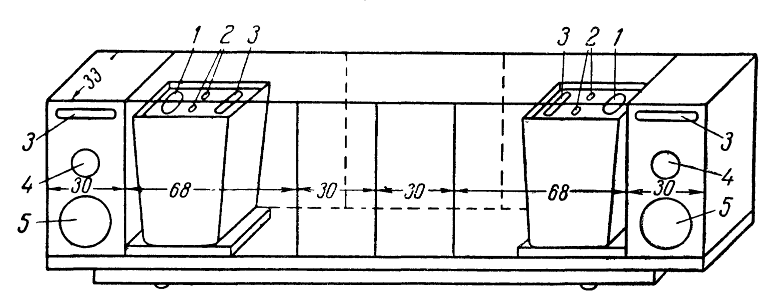


Рис. 43. Схема расположения двухполосных акустических агрегатов.
1 — низкочастотные эллиптические головки; *2* — высокочастотные эллиптические головки; *3* — отверстия фазоинвертора; *4* — высокочастотные круглые головки; *5* — низкочастотные круглые головки.

Цена 12 коп.